

Informe Técnico – Technical Report

DPTOIA-IT-2004-001

Abril, 2004

SISTEMAS HIPERMEDIA ADAPTATIVOS EN EL ÁMBITO DE LA EDUCACIÓN

Adriana José Berlanga Flores

Francisco José García Peñalvo



Departamento de Informática y Automática
Universidad de Salamanca

Revisado por:

Dra. Rosa María Carro

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

rosa.carro@ii.uam.es

Dr. Joaquín García Carrasco

Departamento de Teoría e Historia de la Educación

Universidad de Salamanca

carrasco@usal.es

Aprobado en el Consejo de Departamento de 26-4-2004.

Información de los autores:

Dña. Adriana José Berlanga Flores

Estudiante del Programa de Doctorado en Tecnología Educativa

Departamento de Didáctica, Organización y Métodos de Investigación

Facultad de Educación – Universidad de Salamanca

Paseo de Canalejas 169 – 37008 – Salamanca

solis13@usal.es

Dr. Francisco José García Peñalvo

Área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial

Departamento de Informática y Automática

Facultad de Ciencias – Universidad de Salamanca

Plaza de la Merced s/n – 37008 – Salamanca

fgarcia@usal.es

Este trabajo ha sido financiado por el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) mexicano a Adriana Berlanga, por el proyecto SA017/02 de la Junta de Castilla y León (España) y por el proyecto ODISEAME (*Open distance Interuniversity Synergies between Europe, Africa and Middle East*), ref. EUMEDIS B7-4100/2000/2165-79 P546.

Este documento puede ser libremente distribuido.

© 2004 Departamento de Informática y Automática - Universidad de Salamanca.

Resumen

La intención de este informe es presentar una visión general de las posibilidades que los Sistemas Hipermedia Adaptativos ofrecen en el contexto educativo y, además, analizar algunos sistemas de este tipo para conocer sus características y funcionamiento.

Con este objetivo, el trabajo inicia presentando el concepto de hipertexto, su evolución a través de la historia y las ventajas y desventajas que posee. Continúa con una explicación sobre la naturaleza de los Sistemas Hipermedia Adaptativos, considerando sus características, elementos que lo componen, áreas de aplicación, taxonomía, métodos y técnicas que emplea, y concluye describiendo sus cualidades y defectos; además, proporciona una serie de ejemplos de Sistemas Hipermedia Adaptativos vinculados con el ámbito de la educación, detallando sus componentes y rasgos adaptativos. Finalmente, plantea una serie de conclusiones y puntos de reflexión alrededor del tema.

Abstract

The aim of this work is to present a general vision of the possibilities Adaptive Hypermedia systems offer to educational contexts, as well as to analyze some of the systems that had been developed in this field, in order to know their characteristics and functionalities.

With this intention, this report begins introducing the hypertext concept, its historical evolution, and its strengths and weakness. Then, it explains the nature of Adaptive Hypermedia Systems, considering their features, structure elements, application areas, taxonomy, methods and techniques, as well as their advantages and boundaries. Afterwards, it provides a selection of some Adaptive Hypermedia Systems developed with educational purposes, detailing its components and adaptive features. Finally, this work establishes a set of conclusions and thoughts regarding this field.

Tabla de Contenidos

1.	Introducción.....	1
2.	Hipertexto e Hipermedia	1
2.1.	Definición	1
2.2.	Historia	3
2.2.1	Memex (1945)	5
2.2.2	Xanadu (1965)	5
2.2.3	On-Line System (1968)	6
2.2.4	World Wide Web (1989)	6
2.3.	Ventajas y desventajas relacionadas con el uso del hipermedia	7
3.	Hipermedia Adaptativo.....	8
3.1.	Concepto y características.....	8
3.2.	Antecedentes	8
3.3.	Aplicaciones.....	9
3.4.	Componentes de los SHA	11
3.4.1	Modelo del dominio	12
3.4.2	Modelo del usuario	12
3.4.3	Modelo de adaptación.....	13
3.5.	Elementos que se consideran para realizar la adaptación	13
3.6.	Métodos y técnicas de adaptación.....	14
3.7.	Taxonomía	17
3.8.	Ventajas y desventajas	19
4.	Ejemplos de sistemas hipermedia adaptativos en el ámbito de la educación	20
4.1.	ELM-ART.....	20
4.1.1	Dominio del conocimiento	20
4.1.2	Modelo de usuario	21
4.1.3	Técnicas de adaptación.....	21
4.1.4	Segunda generación: ELM-ART II	21
4.2.	InterBook	24
4.2.1	Modelo del dominio	24
4.2.2	Modelo del estudiante.....	25
4.2.3	Técnicas de adaptación.....	25

4.3.	AST	27
4.3.1	Módulo del dominio experto	27
4.3.2	Módulo pedagógico	27
4.3.3	Modelo del estudiante.....	27
4.3.4	Técnicas de adaptación.....	28
4.4.	AHA.....	29
4.4.1	Modelo del dominio	30
4.4.2	Modelo del usuario	30
4.4.3	Modelo de adaptación.....	30
4.4.4	Técnicas de adaptación.....	30
4.5.	KBS-Hyperbook	32
4.5.1	Modelo del dominio del conocimiento.....	32
4.5.2	Modelo del estudiante.....	33
4.5.3	Técnicas de adaptación.....	33
4.6.	TANGOW.....	35
4.6.1	Creación de contenidos.....	35
4.6.2	Modelo del estudiante.....	35
4.6.3	Técnicas de adaptación.....	35
4.7.	MetaLinks	36
4.7.1	Técnicas de adaptación.....	36
4.8.	Multifunctional Books	37
4.9.	C-Book.....	38
4.10.	Recapitulación de SHA aplicados a la educación.....	38
5.	Conclusiones.....	43
6.	Referencias	45
7.	Enlaces de interés - proyectos de SHA.....	52
8.	Agradecimientos	53

Tablas

Tabla 1 - Cronología de la Historia del Hipertexto.....	4
Tabla 2 - Hipertexto vs. Sistemas informáticos tradicionales y papel	7
Tabla 3 - Elementos que se consideran para realizar la adaptación	14
Tabla 4 - Métodos y técnicas de la Presentación Adaptativa.....	15
Tabla 5 - Métodos y técnicas del Soporte a la Navegación Adaptativa.....	17
Tabla 6 - Ventajas y Desventajas de los SHA	20
Tabla 7 - Desarrollos SHA y sus técnicas de adaptación.....	39
Tabla 8 – Recapitulación de SHA.....	42

Figuras

Figura 1 - Ejemplo de estructura hipertextual.....	2
Figura 2 - Diagrama de los componentes de un SHA.....	11
Figura 3 - Estructura del domino del conocimiento.....	12
Figura 4 - Taxonomía de las tecnologías hipermedia adaptativas (Brusilovsky, 2001).....	18
Figura 5 - ELM-ART: Anotación Adaptativa de Enlaces.....	23
Figura 6 - ELM-ART: Modelo de Usuario	24
Figura 7 - InterBook: Interfaz	26
Figura 8 - AST: Interfaz.....	29
Figura 9 - AHA: Interfaz.....	31
Figura 10 - AHA: Conocimiento sobre conceptos.....	32
Figura 11 - KBS-Hyperbook : Interfaz	34
Figura 12 - Metalinks: Interfaz	37

1. Introducción

La gran expansión que en los últimos años han tenido los sistemas hipermedia se debe, en parte, a la popularización del World Wide Web (WWW), pero sobre todo a su capacidad para estructurar asociativamente piezas de información de naturaleza dispar, logrando con ello simular, en cierta medida, el proceso de relación y conexión que efectúa la mente humana.

Este rasgo conlleva considerar los sistemas hipermedia como una alternativa para reforzar y soportar los procesos de enseñanza y aprendizaje, y con ello conseguir que la estructuración del conocimiento que se desea transmitir concuerde con la manera en que los alumnos asocian los conceptos y las relaciones existentes entre dichos conceptos. No obstante, esta estructuración por sí misma no implica que los estudiantes cuenten con un espacio de aprendizaje capaz de ajustarse a sus metas educativas, formación previa, características individuales o nivel de conocimiento, elementos fundamentales en todo proceso educativo. Es necesario ampliar las cualidades de un sistema hipermedia aplicado a la educación de tal forma que el proceso de interacción se adecue convenientemente a la diversidad de alumnos.

Los Sistemas Hipermedia Adaptativos son una opción interesante para ello, pues su objetivo es construir un espacio de aprendizaje capaz de ajustarse a las particularidades de cada alumno, con lo que constituyen una forma única de interacción y reciprocidad entre el sujeto y el hipermedia educativo, estableciéndose así como un potente recurso didáctico. Su naturaleza permite configurar entornos educativos para conseguir que los alumnos alcancen los objetivos de aprendizaje establecidos mediante contenidos y recorridos adecuados a sus aptitudes, intereses y preferencias.

Para lograrlo, este tipo de sistemas utiliza básicamente tres modelos. El del dominio que establece el conocimiento que se desea transmitir, el de usuario que representa los objetivos y particularidades de cada alumno, y por último el de adaptación. Durante la interacción con el alumno, el sistema emplea estos tres modelos para llevar a cabo la adecuación de contenidos y enlaces, y modifica el modelo de usuario de tal forma que represente el conocimiento y comportamiento actual de cada uno de los estudiantes.

La intención de este trabajo es presentar una visión general de las posibilidades que este tipo de sistemas ofrece en el ámbito educativo. Para ello consideramos necesario conocer su esencia, particularidades, funcionamiento, bondades y defectos, así como analizar algunos sistemas desarrollados en este campo, con el fin de precisar sus características y funcionamiento.

Con este objetivo, este informe comienza presentando el concepto de hipertexto, su evolución a través de la historia y las ventajas y desventajas que posee. En la siguiente sección se explica la naturaleza de los sistemas hipermedia adaptativos, considerando sus características, elementos que los componen, áreas de aplicación, métodos y técnicas que emplean, taxonomía, concluyendo con sus cualidades y defectos. Tras ello, se proporcionan una serie de ejemplos de sistemas hipermedia adaptativos vinculados al ámbito de la educación, detallando sus componentes y rasgos adaptativos. Finalmente, se presentan una serie de conclusiones y puntos de reflexión alrededor de este tema.

2. Hipertexto e Hipermedia

2.1. Definición

El término hipertexto fue acuñado por Theodore H. Nelson en 1965¹, que lo definió como “texto estructurado que no puede ser impreso convenientemente” (Nelson, 1972). Sin embargo, como él

¹ El primer paso para generar la idea del hipertexto lo dio Vannevar Bush con la propuesta de desarrollo del dispositivo Memex (*memory extender*) que publicó en el artículo “*As we may think*” (Bush, 1945), como se verá en el apartado de historia del hipertexto.

mismo reconoce, se trata de una definición poco precisa y extremadamente amplia. Jonassen (1992:7) propuso una definición más concreta:

El hipertexto (hipermedia) consiste en piezas o fragmentos de texto o de otro tipo. Los nodos y los enlaces asociativos son los bloques básicos de todos los sistemas hipermedia [...] En vez de utilizar un flujo continuo de texto, el hipertexto separa en unidades la información.

Esta definición no hace referencia al hecho de que los fragmentos de información se conectan entre sí a través de enlaces, un aspecto fundamental. En el contexto de este trabajo, el hipertexto se define como una red estructurada de manera no lineal formada por nodos y enlaces. Los primeros son elementos de información (texto, gráficos, imágenes, etc.), mientras que los segundos son vínculos que conectan a los nodos con otros nodos, o con fragmentos de información dentro del mismo nodo. La conexión entre los nodos se realiza, en la mayoría de los casos, de un nodo fuente a un nodo destino. Adicionalmente, Jonassen (1992) atribuye otros dos elementos básicos a los sistemas hipermedia: los itinerarios que crea el diseñador del hipertexto (con lo que provee de caminos predeterminados a través del material) y la red de ideas que se construye a partir de la organización de los nodos y los enlaces.

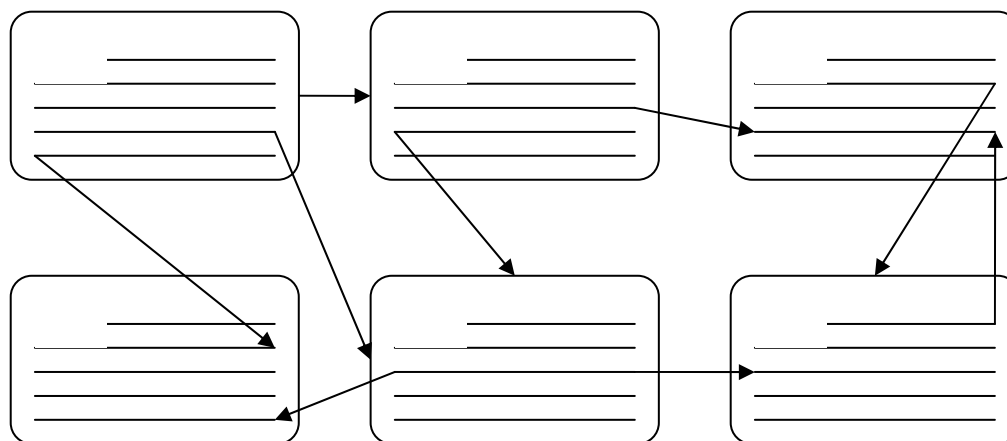


Figura 1 - Ejemplo de estructura hipertextual

Una de las principales características del hipertexto² es la ausencia de una secuencia lectora predefinida (Nielsen, 1990). Cada usuario crea la suya gracias a que existen diferentes caminos que enlazan dos nodos dentro de la estructura hipertextual. La Figura 1 muestra la organización textual interconectada del hipertexto, que posibilita al lector partir del nodo A para ir al nodo B, pero también al D o al E. Igualmente, el lector puede llegar al nodo D siguiendo la ruta A→D sin tener que pasar por los nodos B y C, o ir al nodo F siguiendo la ruta A→B→C sin tener que visitar los nodos D y E.

La falta de una secuencia lectora posibilita que cada lector siga un camino particular a través del texto en cualquier momento, esto es, la individualidad de la secuencia en un tiempo no específico decidida por el propio lector. El ordenador presenta la información y es aquél quien decide qué camino recorrer (Devlin y Berk, 1991).

² La diferencia entre los términos hipertexto e hipermedia radica en que el primero sólo se refiere a la interconexión de elementos textuales, mientras que el segundo se define como la interconexión de diferentes medios (texto, imágenes, videos, etc.). En la actualidad es casi imposible pensar en un hipertexto puro; la mayoría de los sistemas hipertextuales son más bien hipermediales. Por tanto, en este trabajo, ambos términos se utilizarán de manera indistinta, pero siempre bajo la perspectiva de que se habla de hipermedia.

Los sistemas hipermedia se definen como aplicaciones con características hipermediales e hipertextuales. Dichos sistemas pueden tener una arquitectura como la propuesta por Campell y Goodman (1988) organizada en tres niveles. La primera capa, llamada nivel de presentación, se relaciona con la interfaz que se muestra al usuario. La capa intermedia determina la naturaleza y relación entre los nodos y enlaces, y es conocida como la máquina de hipertexto abstracto (*Hypertext Abstract Machine – HAM*). La última capa, llamada nivel de base de datos, se encarga de almacenar y compartir los datos a través de una red. También se pueden utilizar arquitecturas más avanzadas como la propuesta por el Dexter Group (*Dexter Reference Model*) (Halasz y Schwartz, 1990) que se estructura dejando a un lado la capa de base de datos para sustituirla por una capa de almacenamiento de componentes que cubre la noción de nodos y enlaces (De Bra *et al.*, 1999). Además, contempla una capa para especificar las condiciones de presentación antes de llegar a la capa ejecución.

2.2. Historia

Desde nuestro punto de vista existen cuatro grandes momentos en la historia y evolución del hipertexto. El punto de partida es la idea desarrollada por Vannevar Bush alrededor de un dispositivo, llamado Memex (Bush, 1945), que haría las veces de una extensión de la memoria humana. El segundo es el acuñamiento del término hipertexto realizado por Nelson (Nelson, 1965). Posteriormente, Engelbart (Engelbart, English, 1968) desarrolla el sistema NLS (*oN Line System*), que integra por primera vez gráficos y textos en documentos hipertextuales. Por último, la aparición del WWW en 1989 (Berners-Lee, 1989) y su diseminación a escala mundial durante toda la siguiente década.

Para mostrar la cronología en la historia del hipertexto se presenta la Tabla 1 (basada en Nielsen, 1990; Berk y Devlin, 1991; Ashman y Simpson, 1999; De Bra, 2000b; Bernstein, 2002) que contiene los eventos, proyectos y productos más significativos, tras lo cual se profundizará en cuatro de ellos.

1945	Vannevar Bush publica el artículo “As We May Think” (Bush, 1945), en donde expone que la falta de desarrollo científico se debía a la incapacidad de los investigadores para encontrar y acceder a información relevante. Por tanto, para facilitar el rápido acceso a la información, la realización de anotaciones en documentos, y la posibilidad de vincularlos y almacenar caminos entre ellos, propone el sistema-dispositivo <i>Memex</i> .
1965	Ted Nelson crea el sistema <i>Xanadu</i> (Nelson, 1965) para el manejo de textos que almacena digitalmente la información manipulando las palabras por letra. A partir de él acuña el término <i>hipertexto</i> .
1967	Andries Van Dam desarrolla, en la Universidad de Brown (EUA), el <i>Hypertext Editing System</i> que pretende imprimir documentos eficientemente y explorar el concepto del hipertexto. Un año después, crea otra aplicación hipertextual llamada FRESS (<i>File Retrieval and Editing System</i>) (Van Dam y Rice, 1971).
1968	Douglas Engelbart (Engelbart, English, 1968), del Instituto de Investigación de Stanford, presenta en la <i>Computer Conference</i> de San Francisco el sistema NLS (<i>oN Line System</i>) que posibilita la navegación a través del hipertexto. Inventa el ratón e integra texto, gráficas e hiperdocumentos.
1975	Un equipo de la Universidad de Carnegie-Mellon desarrolla el sistema ZOG (Robertson <i>et al.</i> , 1979) diseñado para proveer soporte colaborativo en el trabajo a través de una red hipermedia. A partir de aquí se la considera la primera generación de sistemas hipermedia, en donde únicamente se utilizaban equipos informáticos centrales.
1978	Un equipo del MIT (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>), coordinado por Andrew Lippman, desarrolla <i>Aspen Movie Map</i> (AMP), el primer ejemplo de una aplicación multimedia que incluye la utilización del videodisco.
1983	A principio de la década de los ochenta, comienza la segunda generación de sistemas hipermedia, apoyada básicamente por la aparición de las estaciones de trabajo (<i>workstation</i>), el sistema operativo UNIX e interfases más sofisticadas.

	Se comercializa ZOG, con el nombre de KMS (<i>Knowledge Manager System</i>), un sistema capaz de almacenar texto y gráficos en sus nodos (llamados “marcos”), lo que resultó particularmente útil para industrias en donde varios diseñadores e ingenieros comparten los mismos documentos.
1985	Janet Walker desarrolla <i>Symbolics Document Examiner</i> (Walker, 1988), el primer hipertexto utilizado por clientes “reales”. Otros sistemas hipermedia se lanzan, como el <i>NoteCards</i> (Halasz, 1988) de Xerox o el <i>Intermedia</i> (Yankelovich <i>et al.</i> , 1988) de la Universidad de Brown.
1986	Office Workstations Ltd (OWL) introduce <i>Guide</i> (Brown, 1987), el primer sistema hipertextual disponible para ordenadores personales basado en UNIX, desarrollado por Peter Brown de la Universidad de Kent. Este sistema cuenta con funciones para la creación de enlaces, los cuales sustituían el contenido del nodo actual por el nodo destino y mostraba ventanas de información desplegables al seleccionar un enlace. Aunque contaba con menos funcionalidad que los desarrollos anteriores, proveía de una mejor interfaz gráfica. Se discontinuó en el 2000.
1987	Apple distribuye gratuitamente <i>HyperCard</i> (Apple, 1987) con cada equipo Macintosh. HyperCard crea una estructura hipertextual basada en tarjetas (<i>cards</i>) y en colecciones de éstas (<i>stacks</i>) a la cual se le incluyen botones que asocian programas informáticos (escritos en HyperTalk) para ejecutar funciones como ir a una tarjeta específica, a la primera, o a la última. Sistemas hipertextuales, como <i>Storyspace</i> , se han desarrollada bajo esta plataforma. Aunque HyperCard no se puede considerar un sistema hipertextual, su introducción acercó a los usuarios finales al concepto del hipertexto.
1987	La ACM (<i>Association for Computing Machinery</i>) (www.acm.org) organiza el primer taller sobre Hipertexto en la Universidad de Carolina del Norte.
1989	Primera conferencia europea sobre hipertexto, <i>Hypertext</i> , en York, Reino Unido.
1990	Tim Berners-Lee (Berners-Lee, 1989) presenta el diseño para el <i>World Wide Web</i> (WWW), un ambiente hipertextual distribuido.
1991	Mark Bernstein comercializa <i>StorySpace</i> (Bernstein, 2002), un ambiente hipertextual para la escritura, configuración y lectura de documentos hipertextuales.
1992	Mark Andreessen y Eric Bina de NCSA (<i>National Center for Supercomputing Applications</i>) presentan <i>Mosaic</i> (archive.ncsa.uiuc.edu/SDG/Software/Mosaic) el primer navegador para el WWW.
1993	Se venden más enciclopedias en formato hipermedia que en formato impreso.
1994	Se lleva a cabo la primera <i>World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia</i> en Vancouver (Canadá), y la <i>European Conference on Hypermedia Technology</i> , en Edinburgo (Escocia).

Tabla 1 - Cronología de la Historia del Hipertexto

Gracias a la gran popularidad que a partir de 1993 empezó a tener el WWW, los desarrollos hipertextuales aumentaron considerablemente, por lo que resulta imposible incluirlos aquí. Sin embargo, es importante señalar que actualmente la tendencia es desarrollar aplicaciones hipermediales para plataforma Web que separen los datos de sus estructuras. Para ello a partir de 1998 el *World Wide Web Consortium* (www.w3.org) desarrolla el lenguaje de marcado XML (*eXtensible Markup Language*) (Bray, Paoli y Sperberg-Macquenn, 2000) con el objetivo de definir etiquetas y atributos para los elementos que componen las páginas Web, de tal manera que capturen la estructura lógica y permitan el entendimiento semántico (Hollander y Sperberg, 2003). El desarrollo de estándares de este tipo permiten el desarrollo de investigaciones avanzadas alrededor del campo del hipertexto, como la creación de enlaces más sofisticados para relaciones uno a muchos, o realizar cálculos de las posiciones que deben tener los enlaces (Ashman y Simpson, 1999).

A continuación se explican con detalle los cuatro hitos importantes en el desarrollo del hipertexto.

2.2.1 Memex (1945)

Vannevar Bush (1890-1974) fue uno de los científicos pioneros en el desarrollo de ordenadores. En 1931 creó el Analizador Diferencial en el MIT. Estuvo a cargo de la Oficina de Desarrollo e Investigación Científica estadounidense en la presidencia de Roosevelt durante la Segunda Guerra Mundial, en la que tenía a su cargo más de 6.000 investigadores trabajando en proyectos como el desarrollo del radar o la bomba atómica.

Elaboró algunas ideas sobre *Memex*, una “ayuda a la memoria”, en 1932, publicándolas en 1945 en el *Atlantic Monthly* con el nombre “As We May Think”. Este dispositivo, que nunca fue desarrollado, estaba concebido para ser un aparato mecanizado en donde un individuo almacenaría todos sus libros, registros y comunicaciones de tal manera que pudieran ser consultados rápida y flexiblemente (Bush, 1945: 102).

El dispositivo en sí estaba ideado como un escritorio que en la parte superior tenía colocadas varias pantallas que proyectarían el material para su lectura. Un teclado y un conjunto de palancas completaban el dispositivo. La consulta de información –almacenada en *microfilm* y adquirida a proveedores de libros, enciclopedias, periódicos, etc.– era posible a través del manejo de una tabla de códigos relacionada con cada elemento. El usuario tendría que introducir el código en el teclado y así el dispositivo encontraría y mostraría el documento.

La característica distintiva de Memex, gracias a la cual se le proclama como el “abuelo” del hipertexto, es la construcción de caminos asociativos entre piezas de información o documentos (enlaces entre el texto o hipertexto). Cada documento tendría un espacio para introducir el código de otro documento con el que estaba relacionado. Por tanto, cada individuo podría crear sus propios caminos entre documentos de acuerdo a ciertos criterios o temas (anotaciones o visitas guiadas). Estos caminos podían ser fotografiados y enviados por correo ordinario a otros usuarios para que los incluyeran en su propio Memex. Adicionalmente, era posible añadir comentarios al margen de cada documento (De Bra, 2000b).

2.2.2 Xanadu (1965)

Theodore Nelson ideó Xanadu³ (Nelson, 1965) como un ambiente unificado a escala global en donde un repositorio almacenaría toda la literatura del mundo en un gran sistema hipertextual, introduciendo así en 1965 el término *Hipertexto* (Jonassen, 1992).

Nelson definió diferentes tipos de estructuras hipertextuales: hipertexto en piezas (*Chunk hypertext*); hipertexto colateral (*Collateral hyperetext*) que proveía diferentes puntos de vista; texto elástico o estirado (*Stretch text*) que era capaz de cambiar constantemente; e hipertexto grande (*Grand hypertext*) que contenía en todo lo relacionado a un tema en particular (Jonassen, 1992).

El sistema Xanadu utiliza un modelo basado en varios componentes: documentos (también llamados *Virtual Versions*) distribuidos virtualmente en forma de listas de punteros hacia otros documentos; enlaces entre estos elementos; relaciones entre el contenido de los documentos y sus versiones previas (llamados *transclusions*); mecanismos para recuperar las versiones anteriores de un documento que almacenan únicamente la versión actual del documento y genera sus versiones anteriores mediante el registro de los cambios realizados; la administración del trabajo en grupo para gestionar las contribuciones de los autores y las versiones realizadas en conjunto. Igualmente define el manejo de los derechos de autor por medio de la venta de fragmentos y el derecho para su uso en nuevos contextos (Nelson, 2001).

Se consideraba necesario, asimismo –aunque no era posible desarrollarlo en el momento en que se ideó Xanadu–, contar con una red electrónica de transmisión que llevara los documentos solicitados de las bibliotecas a los usuarios y facilitara la comunicación y el envío de documentos entre ellos (Nelson, 1972).

³ Disponible en <http://www.xanadu.net>.

La línea de investigación de Xanadu se originó en la Universidad de Brown, pero actualmente se encuentra soportada por la compañía Autodesk. Por su parte, Nelson continúa sus investigaciones sobre hipertexto en la Universidad de Southampton. Su último proyecto, ZIGZAG⁴ ofrece una nueva visión a la jerarquía de ordenación que se utiliza en los archivos de ordenador o en los elementos de un documento, proponiendo una estructura flotante de celdas en un espacio multidimensional para organizar estructuras informáticas, de datos, interacción, vistas y programación (Nelson, 2001).

2.2.3 On-Line System (1968)

El *On-Line System* (NLS) (Engelbart, English, 1968), creado por Douglas Engelbart en 1968, es considerado la primera implementación del hipertexto (Keep *et al.*, 2000). Su concepción giraba en torno al trabajo en grupo de equipos geográficamente dispersos, lo que se conoce hoy en día como *groupware*.

NLS contaba con herramientas como editores para el desarrollo de ideas, enlaces hipertextuales, teleconferencia, procesador de texto, correo electrónico y la posibilidad de configurar preferencias individuales. Para poder hacer uso de estas herramientas, Engelbart inventó el ratón destinado a facilitar las selecciones en pantalla, además de un software basado en ventanas como interfaz y sistemas de ayuda en línea, elementos que hoy en día son la base de interacción persona-ordenador (Ashman y Simpson, 1999).

2.2.4 World Wide Web (1989)

El *World Wide Web*, también llamado WWW o Web, empezó a desarrollarse a partir de 1989 como parte de un proyecto del *European Laboratory for Particle Physics* (CERN) en Suiza. Su creador, Tim Berners-Lee ideó la Web como una infraestructura de información que ayudaría a los investigadores del CERN a comunicarse, a compartir información y evitar la pérdida de ésta mediante una estructura hipertextual que utilizaba Internet como plataforma (Berners-Lee, 1989). En un seminario realizado en 1991, Berners-Lee conceptualizó el WWW como un mundo “sin costuras” en donde toda la información, de cualquier fuente puede ser accedida de manera consistente y simple (Berners-Lee, 1991).

La pieza clave para expandir la popularidad de la Web fue el desarrollo de aplicaciones para navegar a través de ella. Berners-Lee desarrolló el primer navegador, el lenguaje que emplearían los ordenadores para comunicarse por Internet (*Hypertext Transfer Protocol* – HTTP), y el esquema para identificar los elementos (*Universal Resource Identifier* – URL) en un ordenador NeXT, el cual no era de uso común (Berners-Lee, 1999). No fue hasta 1993 cuando Marc Andreessen, estudiante de postgrado del NCSA en la Universidad de Illinois, creó la interfaz Mosaic, que la Web empezó a conocerse. Debido a que no proveía funciones de edición, esta interfaz convirtió a la Web en un sistema sólo de lectura, cuando originalmente estaba concebida como una aplicación de publicación colaborativa (Berners-Lee, 1999).

En 1994, algunas de las personas que colaboraron en la realización de Mosaic dejaron la universidad y crearon su propia compañía, Netscape (www.netscape.com), donde desarrollaron el navegador *Netscape Navigator*, que superó en popularidad a Mosaic.

Actualmente, Berners-Lee trabaja en el Laboratorio de Ciencias Informáticas del MIT y está a cargo del *World Wide Web Consortium* (W3C⁵), un organismo fundado en 1994 dedicado a desarrollar estándares tecnológicos para la Web, entre los que se encuentran *HyperText Markup Language* (HTML) (Raggett *et al.*, 1999), *eXtensible Markup Language* (XML) (Bray *et al.*, 2000), *Cascading Style Sheets* (CSS) (Wium Lie y Bos, 1999) y *Scalable Vector Graphics* (SVG) (Ferraiolo *et al.*, 2003). Uno de sus proyectos actuales es la Web Semántica, que consiste en dotar de significado a los elementos que se presentan en el WWW, de tal manera que los ordenadores sean capaces de

⁴ Par a más información consultar <http://xanadu.com/zigzag>.

⁵ Para más información consultar www.w3.org.

utilizar estos datos para realizar acciones automáticas por medio de agentes informáticos (Berners-Lee, 2001).

2.3. Ventajas y desventajas relacionadas con el uso del hipermedia

Dentro de las ventajas del hipertexto hay que mencionar el hecho de que su estructura en forma de red simula la organización de la mente humana, soportando la conexión asociativa de ideas y propiciando que el usuario controle qué quiere ver y cuándo lo quiere ver. Dicha estructura facilita el almacenamiento de información en diferentes medios y formatos, y, gracias a las conexiones entre éstos, un acceso rápido (Salinas, 1994). Como consecuencia, su empleo con fines educativos es, hasta cierto punto, capaz de beneficiar el aprendizaje “autónomo, significativo, interactivo, abierto y en muchos casos colaborativo” (Duarte, 2000: 145).

En contraste, los principales problemas que se relacionan con el hipermedia son:

1. Desorientación del usuario causada por la estructura de navegación (Edwards y Hardman, 1999), ya que es sencillo perderse en el material si el usuario sigue enlaces, de tal forma que en un momento dado no identifique en dónde se encuentra o cómo llegó ahí.
2. Sobrecarga cognitiva, atribuida a la gran cantidad de caminos que un usuario puede seguir por el hipertexto.
3. Existencia de flujos de conceptos y de narración discontinuos (Murray *et al.*, 2000a), lo que puede inducir a establecer relaciones erróneas entre los elementos de información, provocando inconcordancia con el conocimiento científico (Duarte, 2000).
4. Presentación de información y estructura única, dejando a un lado las características y conocimientos de cada usuario.

Una comparación de las ventajas y desventajas entre el hipertexto, los sistemas informáticos tradicionales y el papel se presenta en la Tabla 2 (adaptada de Nielsen, 1990).

<i>Hipertexto</i>	Comparado con papel	Comparado con sistemas informáticos tradicionales
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Puede mostrar imágenes en movimiento, películas, animaciones, etc. • Fácil de modificar, distribuir, reproducir y compartir. • Requiere menos espacio físico de almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura de los datos está orientada semánticamente. • Emplea un sólo marco de referencia para manejar información no estructurada, semi-estructurada y estructurada. • No requiere habilidades de programación para construir estructuras complejas.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Orientado a la lectura. • Se pueden crear estructuras de navegación complejas y sobrecargadas de información. • La velocidad de lectura en pantalla es un 30% menor comparada con la tradicional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible crear una estructura “espagueti”, es decir, vinculación errónea o enredada entre los elementos. • No existe una definición para estructurar la información, por lo que no hay una manera fácil de especificar acciones generales o computar los datos.

Tabla 2 - Hipertexto vs. Sistemas informáticos tradicionales y papel

3. Hipermedia Adaptativo

Después de explicar la naturaleza del hipertexto, a través de su definición, características, historia, cualidades y defectos, se profundizará en una de sus aplicaciones avanzadas, el hipermedia adaptativo.

3.1. Concepto y características

El objetivo de un Sistema Hipermedia Adaptativo (en adelante SHA) es que sea el sistema el que se adapte al usuario y no al contrario, como sucede en los hipermedia “clásicos”, los cuales muestran el mismo contenido y los mismos enlaces a todos los usuarios (De Bra *et al.*, 1999). Por lo tanto se constituyen como una alternativa al enfoque “una-talla-para-todos” en el desarrollo de sistemas hipermediales (Brusilovsky, 1996).

Para conseguir este objetivo, un SHA construye un modelo que representa las metas, preferencias, características personales y conocimientos de cada usuario, y lo emplea y modifica según la interacción del sujeto con el sistema para adecuar la información y los enlaces que se presentan en el hipertexto a sus necesidades específicas. Por tanto, la adaptación se enfoca en el contenido y en los enlaces que se muestran. Brusilovsky (1996) etiqueta la primera como Presentación Adaptativa, y la segunda como Soporte a la Navegación Adaptativa.

La Presentación Adaptativa busca ajustarse a las necesidades de los usuarios, modificando la información de una página Web de tal forma que muestre el contenido adecuado a sus conocimientos sobre el tema. Ello se lleva a cabo agregando explicaciones a los temas que son prerequisites, proporcionando comparaciones con otros temas descritos en páginas que no se han visto con anterioridad, y/o facilitando información adicional a usuarios avanzados. De la misma manera, realiza cambios en el formato y estilos de presentación, seleccionando diferentes medios (texto, imágenes, audio, vídeo) o alterando la cantidad de información que se despliega.

El Soporte a la Navegación Adaptativa pretende estructurar y presentar enlaces para sugerir al usuario cuál es el más apropiado a seguir o mostrar aquéllos que contienen información relevante para él. Para conseguirlo, agrega, cambia, elimina, ordena o anota enlaces y/o los destinos a los que están dirigidos.

Para que un sistema hipermedia sea considerado adaptativo (i.e. SHA) es necesario que esté configurado en un entorno hipertextual o hipermedial, y que cuente con un modelo de usuario que lleve a cabo la adaptación del hipermedia. (Brusilovsky, 1996).

Es importante tener en cuenta que la diferencia entre un SHA y un sistema adaptable es que éste último se enfoca, básicamente, en proporcionar al usuario herramientas para la personalización del sistema (color, tipo de letra, tamaño de letra, etc.), o en contar con interfaces para diferentes niveles (por ejemplo, experto, principiante, etc.). La diferencia crucial es que en un sistema adaptable el usuario selecciona sus preferencias o intereses, mientras que un SHA emplea un modelo de usuario para proveer adaptación automática (De Bra *et al.*, 1999). No obstante, esta diferencia no implica que un SHA no pueda contar con características adaptables.

3.2. Antecedentes

El inicio de las investigaciones en el campo de los SHA se sitúan al principio de la década de los noventa, pero no es hasta 1996 cuando el desarrollo de este campo se expandió, gracias al uso generalizado de una plataforma hipermedia atractiva, el *World Wide Web*, con lo que se consolidan, acumulan y diseminan experiencias, y se realizan investigaciones prácticas sobre el tema (Brusilovsky, 2001).

No obstante, desde 1993 se comienzan a desarrollar sistemas hipermedia adaptativos en ambientes no web, como el sistema de información en línea HYPERFLEX (Kaplan *et al.*, 1993), o el sistema ITEM/PG (Brusilovsky, Pesin, y Zyryanov, 1993) en el campo de la educación. En cuanto a los primeros sistemas hipermedia adaptativos basados en web, su desarrollo comenzó a partir de 1995;

Entre ellos se puede citar al sistema de recuperación de información WebWatcher (Armstrong *et al.*, 1995), ELM-ART⁶ (Brusilovsky *et al.*, 1996) en el área educativa, o PUSH (Höök, *et al.*, 1996) en los sistemas de información en línea (Brusilovsky, 1996).

Desde 1994 se han realizado, en conjunto con otros congresos⁷, talleres de trabajo relacionados con el área de los SHA. Sin embargo, recientemente se ha iniciado una serie de conferencias internacionales dedicadas exclusivamente al tema, llamadas *International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*. La primera se realizó en Trento (Italia) (ah2000.itc.it) en agosto del 2000. La segunda se llevó a cabo en la Universidad de Málaga (España) (www.lcc.uma.es/AH2002) en mayo del 2002, escalonando bienalmente la celebración de este encuentro. Esta propagación de eventos denota el creciente interés que el tema suscita entre grupos de investigación.

3.3. Aplicaciones

Brusilovsky (2001) expone que antes de 1996 las áreas de aplicación de los SHA eran el Hipermedia Educativo (*Educational hypermedia*), los Sistemas de Información en Línea (*On-line information systems*), la Recuperación de Información Hipermedia (*Information retrieval hypermedia-IR*), los Sistemas de Ayuda en Línea (*On-line help systems*), el Hipermedia Institucional (*Institutional hypermedia*), y los Sistemas para el manejo de vistas personalizadas de información (*Systems for managing personal views*).

En el conjunto de estas áreas de aplicación, el Hipermedia Educativo y los Sistemas de Información abarcaban las dos terceras partes de la investigación. Actualmente, el área de Recuperación de Información –que hoy en día abarca los Sistemas para el Manejo de Vistas Personalizadas de Información– está tomando auge, mientras que poco se ha desarrollado en el campo de los Sistemas de Ayuda en Línea o en los Hipermedia Institucionales.

En consecuencia, hoy en día, las principales áreas de aplicación de los SHA son (Brusilovsky, 1996; Brusilovsky 2001):

1. **Hipermedia Educativo** (*Educational Hypermedia*).- Es el área más popular. Considera el conocimiento que el estudiante posee y comprueba su nivel de destreza en el tema que se le pretende enseñar, con el objetivo de que éste comprenda el material de aprendizaje en un tiempo determinado. Para esto ayuda en la navegación y exploración el dominio del conocimiento, considerando que el conocimiento de los usuarios puede variar y crecer rápidamente. Ejemplos de esta categoría, que se explican en el siguiente apartado de este trabajo, son: ELM-ART (Brusilovsky, *et al.*, 1996), InterBook (Brusilovsky *et al.*, 1998), AST (Specht *et al.*, 1997), AHA (De Bra y Calvi, 1998), KBS-Hyperbook (Henze y Nejd, 1999), TANGOW (Carro *et al.*, 1999), Metalinks (Murray *et al.*, 2000b), Multifunctional Books (Calvi, 1997), y C-Book (Kay y Kummerfeld, 1994).
2. **Sistemas de Información en Línea** (*On-line information systems*).- Tienen como objetivo facilitar referencias de información a usuarios con diferentes niveles de conocimiento sobre el tema, para ayudarlos a navegar y encontrar piezas relevantes de información. Esta clasificación abarca un abanico amplio de aplicaciones, como las enciclopedias electrónicas, los sistemas de documentación en línea, los kioscos de información, los museos virtuales, las guías portátiles (*handheld guides*), sistemas de comercio electrónico, y los sistemas de soporte en el

⁶ Una explicación detallada del sistema ELM-ART se puede encontrar en la sección 4. Ejemplos de sistemas hipermedia adaptativos en el ámbito de la educación.

⁷ Como por ejemplo, el *Second Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia* (www.wis.win.tue.nl/ah98), realizado dentro de la *Ninth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia* (Hypertext'98) (www.ks.com/HT98). O el *Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web* (ASUM99) (www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/WWWUM99_workshop), llevado a cabo en conjunto con la *Eight International World Wide Web Conference* (www8.org). O la *Seventh International Conference on User Modeling* (www.cs.usask.ca/UM99) (De Bra, 2001).

funcionamiento (*performance support systems*) en diversas áreas como la reparación técnica o el tratamiento médico. Un ejemplo de esta categoría es el sistema LISTEN (Zimmermann, *et al.*, 2003) que, utilizando como interfaz las guías auriculares de los visitantes de un museo, adapta la información que se les provee considerando sus preferencias, intereses y movimientos. Para ello, considera la posición, el tiempo y el objeto que cada usuario observa. Otro ejemplo es CiteSeer (<http://citeseer.nj.nec.com/cs>) (Ballacker, *et al.*, 2000), un generador automático de referencias de la literatura científica que se encuentran en el WWW. Además incluye un sistema de recomendaciones personalizado que observa al usuario cuando navega para adaptarse a sus intereses.

3. **Recuperación de información hipermedial** (*Information Retrieval Hypermedia*).- Combina técnicas tradicionales de recuperación de datos con la posibilidad de navegar por un hiperespacio construido a partir de enlaces estáticos o dinámicos. Su objetivo es proveer al usuario de un conjunto de enlaces que respondan a consultas realizadas sobre información almacenada en un hiperespacio específico o sobre el WWW, para lo cual calcula automáticamente enlaces, los propone al sujeto y los anota para señalar los más relevantes. Esta área de aplicación se divide en cuatro apartados:

- 3.1 Sistemas orientados a la búsqueda (*Search-oriented systems*).- Crean listas de enlaces a documentos cuyo contenido satisfaga criterios de búsqueda definidos, teniendo en cuenta no sólo las palabras, sino también los intereses a corto y largo plazo de cada usuario, y el dominio de información con el que se trabaja. Se subdividen en sistemas clásicos de recuperación de información y filtros de búsqueda. Los primeros trabajan con corpus cerrados de información, mientras que los segundos lo hacen con corpus abiertos como, por ejemplo, el WWW. Entre los ejemplos de este tipo de sistemas se encuentra Syskill & Webert (Pazzani, *et al.*, 1996), un agente inteligente que valora páginas del WWW en función de si interesarán o no al usuario. El sujeto debe evaluar las páginas presentadas para que con esa información el sistema construya el modelo de usuario. Éste puede utilizarse tanto para construir una consulta (*query*) y encontrar páginas de interés (*search-oriented systems*), como para obtener sugerencias sobre qué enlaces resultan interesantes de explorar (*browsing-oriented systems*).

- 3.2 Sistemas orientados a la navegación (*Browsing-oriented systems*).- Auxilian al usuario en el proceso de búsqueda de información. Un ejemplo de este tipo de sistemas es el Personal WebWatcher (Mladenec, 1996, Mladenec, 2001) que se encarga de observar las páginas Web que ha consultado el usuario con el objetivo de proporcionarle enlaces anotados en los que pudiera estar interesado. Otro ejemplo interesante de este tipo de sistemas es Letizia (Lieberman, 1995), un agente que ayuda al usuario a navegar en el WWW. Para ello lleva registro del comportamiento del sujeto (qué enlaces sigue, qué consultas realiza, si pide ayuda, etc.) e intenta anticipar ítems de interés. Cuando el usuario lo solicita, el sistema presenta el conjunto de enlaces que cree le interesarán. Este agente trabaja para un único individuo, mientras que otro ejemplo de este tipo de sistemas llamado Let's Browse (Lieberman, *et al.*, 1999) lo hace para la navegación colaborativa.

- 3.3 Sistemas para el manejo de vistas personalizadas (*Systems for managing personalized views*).- Organizan la información encontrada de acuerdo a ciertas características, parámetros, objetivos o intereses. El ejemplo más común de este tipo de sistemas son los manejadores de marcadores (*bookmarks*), como PowerBookmarks (Li, *et al.*, 1999) que ayuda en la administración de marcadores utilizando los metadatos de los URL que ha marcado el usuario para indexarlos y clasificarlos. Permite realizar consultas, clasificar, y navegar por grupos de marcadores. Además, emplea patrones de acceso del usuario para generar automáticamente marcadores y detectar enlaces rotos.

- 3.4 Servicios de información (*Information services*).- Recogen un conjunto de documentos similares de un corpus abierto del hiperespacio en un período largo de tiempo. Trabajan en comunidades de usuarios, lo que les da la oportunidad de aprender de éstos y del conjunto de documentos. Para ello proveen diferentes tipos de ayuda utilizando tecnologías basadas en la selección (*click-based*) y en el contenido (*content-based*). Un ejemplo de esta última

tecnología es el sistema AIS (*Adaptive Information Server*) (Billsus, *et al.*, 2000) que, mediante una interfase de usuario *wireless*, proporciona a cada sujeto las noticias del día más interesantes considerando su perfil de usuario. Este perfil se construye observando los patrones de acceso a las noticias realizados por cada usuario y utilizando esta información como entrada en un algoritmo de aprendizaje basado en contenido.

Por su parte, Koch (2001) propone una clasificación similar de las áreas de aplicación del hipermedia adaptativo, en ella incluye los sistemas hipermedia instruccionales, los motores de búsqueda, los sistemas de información en línea, los sistemas de ayuda en línea, y los asistentes personales. Como se puede observar, las primeras áreas son similares a las propuestas por Brusilovsky (2001), sin embargo, éste argumenta que no existe investigación en el campo de los sistemas de ayuda en línea y no menciona los asistentes personales. Los primeros tienen como objetivo auxiliar al usuario cuando éste tiene algún problema o duda con una aplicación o sistema informático, por tanto siempre están vinculados a otras herramientas o aplicaciones; un ejemplo conocido de este tipo de sistemas es el asistente de Microsoft World. Por su parte los asistentes personales tienen como objetivo gestionar de manera personalizada un gran volumen de información cambiante, ayudando al sujeto a identificar información útil.

Es importante mencionar que estas aplicaciones no son excluyentes y pueden contenerse unas a otras. Por ejemplo, un sistema Hipermedia Educativo puede contener una enciclopedia electrónica (sistemas de información en línea), y una o varias aplicaciones de recuperación de información como sistemas orientados a la búsqueda o a la navegación. Ello permite crear aplicaciones más completas y potentes.

3.4. Componentes de los SHA

Wu *et al.* (2000) sostienen que un SHA está formado principalmente por tres componentes: el Dominio del Conocimiento, el Modelo del Usuario, y el Modelo de Adaptación. La Figura 2 muestra un esquema general de cómo interactúan estos tres componentes: el Modelo del Dominio se encarga de almacenar y estructurar el conocimiento que se desea transmitir, el Modelo de Adaptación adecua dichos contenidos, teniendo en cuenta el modelo de usuario, y se modifica cuando el usuario interactúa con el sistema a partir de la información que le proveen los otros dos modelos.

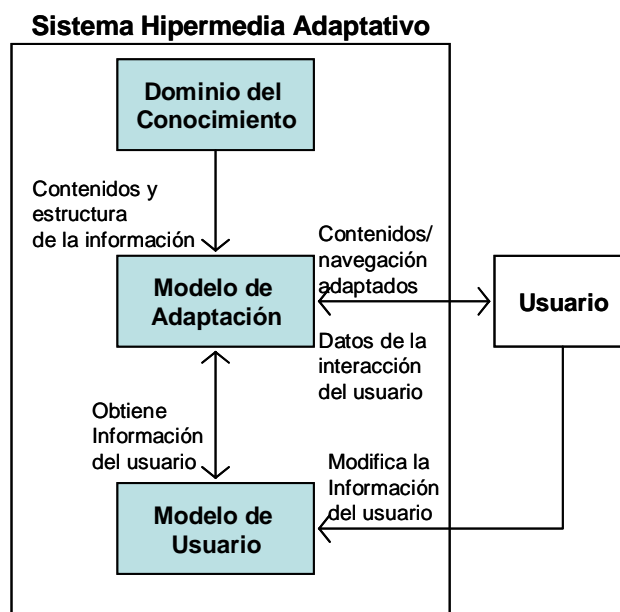


Figura 2 - Diagrama de los componentes de un SHA

3.4.1 Modelo del dominio

El objetivo de este modelo es estructurar el dominio del conocimiento que se desea transmitir. Dicha estructura se define utilizando estructuras hipermediales que permiten definir nodos, relaciones entre nodos y, en algunos casos, sus atributos. La Figura 3 muestra algunas de las diferentes maneras que existen para definir la estructura del dominio del conocimiento (Carro, 2001).

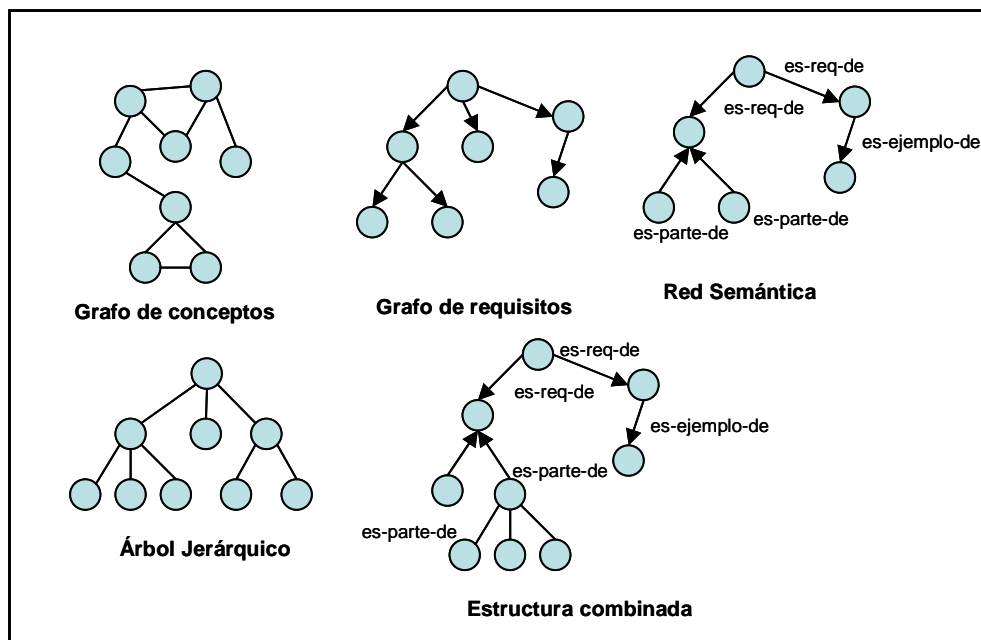


Figura 3 - Estructura del dominio del conocimiento.

El grafo de conceptos, la estructura más común en los sistemas hipermedia educativos, almacena la información por conceptos, las relaciones de éstos con otros conceptos, y sus atributos.

Los conceptos pueden ser del tipo atómico, compuesto o de relación. Los primeros representan unidades mínimas de información, por tanto, siempre pertenecen a un concepto compuesto. Los segundos constituyen una secuencia de subconceptos y las funciones de construcción que especifican la forma en que éstos se agrupan. Los elementos que dependen de los subconceptos (los conceptos “hijos”) son o todos compuestos atómicos o todos conceptos compuestos. Un concepto compuesto que contiene sólo conceptos atómicos se llama *página*, mientras que las partes de una página se llaman *fragmentos*.

Los conceptos relación (o relaciones) son objetos que conectan relaciones entre uno o más conceptos mediante pares de valores de atributos. Pueden ser, por ejemplo, del tipo prerequisite, en cuyo caso se hablaría de una estructura grafo de requisitos.

Por su parte, la red semántica también utiliza el mismo concepto que el grafo de conceptos, sin embargo se definen tipos de relación entre los nodos (es-similar, es-opuesto, es-parte-de, es-requisito-previo-de, etc.). Una variante de la red semántica es el árbol jerárquico que utiliza una red de nodos unidos entre si por el tipo de relación “es-parte-de”. Finalmente, la estructura combinada integra una o varias de las estructuras descritas (Carro, 2001).

3.4.2 Modelo del usuario

El modelo de usuario tiene como objetivo representar la relación de cada sujeto con el conocimiento que se le desea transmitir. Para ello, almacena y estructura aspectos relevantes de cada usuario, como sus preferencias, conocimientos, intereses, recorridos, o interacciones y los utiliza para realizar la adaptación.

Los diferentes tipos de modelo de usuario se pueden clasificar según (Gaudioso, 2002):

- El tipo de usuarios que se modelan: estereotipos o modelos más individualizados.
- Las fuentes de información que se consideran para realizar el modelado: información explícita por parte del usuario mediante formularios o pruebas de entrada, o información obtenida por el sistema de la interacción del usuario.
- La caducidad del modelo: si contienen información muy específica que sirve a corto plazo o información más general que sirve a largo plazo.
- La actualización del modelo: modelos estáticos o dinámicos.

Además, entre las representaciones más importantes del modelo de usuario se encuentran (Holt *et al.*, 1994):

1. Modelo Overlay.- Tratan el conocimiento del estudiante como un subconjunto del conocimiento de un experto sobre el tema.
2. Modelo diferencial.- Divide el conocimiento en el material que el usuario debería conocer (i.e. material que el usuario debería visitar) y en el que no se esperaría que el estudiante debería conocer (i.e. material que no se espera sea visitado por el usuario).
3. Modelo de perturbación.- Se presupone que el estudiante tiene conocimiento en cantidad y calidad diferente al de un experto.
4. Otros que hacen predicciones basándose en deducciones como el Modelo de Estado vs. Proceso que simula el proceso que un usuario sigue para seleccionar qué material consultar.

3.4.3 Modelo de adaptación

El modelo de adaptación contiene la descripción de la funcionalidad adaptativa del SHA. Lo que incluye la adaptación del contenido, los enlaces y las actualizaciones al modelo de usuario. Generalmente, la adaptación se lleva a cabo mediante reglas que especifican qué y cómo se deben mostrar y comportar los elementos del sistema teniendo en cuenta el modelo de usuario.

Henze (2003) divide las reglas en aquellas que describen la funcionalidad adaptativa (sugieren un documento, generar recorridos, etc.) y en las que definen el tratamiento adaptativo que producirá en tiempo de ejecución (por ejemplo, ordenar los enlaces según su utilidad para un usuario en particular, establecer anotaciones en los documentos, etc.).

Wu *et al.*, (2000) indican que existen dos niveles para controlar la adaptación: el nivel autor y el nivel sistema. En el primero, una persona define y especifica las reglas de adaptación que regirán al sistema. En el segundo, el nivel sistema, el mecanismo de adaptación del sistema se encarga de ejecutar las reglas definidas en el nivel de autor.

3.5. ***Elementos que se consideran para realizar la adaptación***

Brusilovsky (1996) establece que los cinco elementos a tomar en cuenta para realizar la adaptación en un SHA son el conocimiento, los objetivos, las características del usuario, su experiencia y sus preferencias.

El conocimiento es el elemento más utilizado por las técnicas de adaptación. Cuando un SHA lo emplea es necesario que reconozca los cambios en el conocimiento del usuario y actualice la información que tiene almacenada sobre éste. Para lograrlo, en primer lugar, se configura un modelo que contenga la estructura del tema que se desea enseñar representada como una red de conceptos y relaciones. Para cada concepto se almacena una estimación del nivel del conocimiento del usuario y, con base en ello, el sistema ejecuta la adaptación.

La adaptación a los objetivos se relaciona –en esta aportación de Brusilovsky– con la información que busca el usuario en el hiperespacio, y no en el usuario como individuo. Dependiendo del tipo de SHA los objetivos del usuario pueden ser diferentes. Por ejemplo, un usuario de un hipermedia educativo puede tener como objetivo encontrar material complementario al tema de

estudio, pero un usuario que utiliza un sistema hipermedia para recuperar información puede requerir que se le sugieran enlaces relevantes sobre un producto que acaba de salir al mercado.

La adaptación a las características del usuario se refiere a toda aquella información relevante relacionada con la experiencia del usuario fuera del tema del SHA, como profesión, experiencia, punto de vista, perspectivas, etc. Por su parte, la adaptación a las experiencias del usuario se enfoca a determinar qué tan familiar le resulta la estructura y la navegación en el hiperespacio, mientras que la adaptación a las preferencias de usuario se refiere a aquellos enlaces por los que éste opta por encima de otros, el inconveniente es que este elemento no puede ser deducido por el sistema, es necesario que el usuario especifique sus preferencias.

Kobsa (2001) menciona que la personalización es una tarea intensiva relacionada con los datos, los cuales se tienen que computar y almacenar. En su opinión los elementos adaptables de un SHA son los datos del usuario, los datos de uso y el medio.

Dentro de los datos de usuario se pueden considerar las características demográficas del individuo como los datos personales o geográficos, el grado de conocimiento de un usuario sobre los conceptos y relaciones del tema que se está tratando, sus habilidades y destrezas para realizar acciones, sus preferencias e intereses, y sus metas y planes.

Los datos de uso están relacionados con la interacción que realiza el usuario con el sistema. Este tipo de información es de naturaleza observable, como las acciones que realiza o la especificación por parte del usuario de su opinión sobre ciertos elementos (documentos, por ejemplo), o relacionada con la regularidad con la que el usuario interactúa con el sistema, como la frecuencia o la secuencia de acciones. Los datos del medio se refieren a información que no tiene que ver con el usuario en sí, como la ubicación del sujeto en el momento de la interacción, el software (versión del navegador, por ejemplo) y hardware (ancho de banda, velocidad de procesamiento, etc.) que utiliza.

La Tabla 3 muestra una comparación general entre los elementos adaptables que proponen Brusilovsky (1996) y Kobsa (2001). Aunque no es posible equiparar las propuestas linealmente, existen elementos comunes. Cabe notar que el elemento “experiencia para navegar en el hiperespacio” puede ser causa del año de la propuesta, 1996, en donde muy pocas personas estaban familiarizadas con el WWW.

Brusilovsky	Kobsa
<ul style="list-style-type: none"> Conocimientos. Objetivos que se persiguen. Características relacionadas con la experiencia del usuario en otros campos de estudio (profesión, experiencia, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Datos del usuario: características demográficas, grado de conocimiento sobre el tema, habilidades, preferencias, metas, etc.
<ul style="list-style-type: none"> Experiencia para navegar en el hiperespacio. Preferencias del usuario: qué enlaces prefiere por encima de otros. 	<ul style="list-style-type: none"> Datos de uso: cómo se realiza la interacción con el SHA (acciones que se realizan, opiniones sobre el sistema, frecuencia de acciones).
	<ul style="list-style-type: none"> Datos del medio: información del entorno técnico relacionada con el usuario que afecta el funcionamiento del SHA.

Tabla 3 - Elementos que se consideran para realizar la adaptación

3.6. Métodos y técnicas de adaptación

Brusilovsky (1996) considera que existen métodos y técnicas de adaptación. Los primeros se basan en una idea de adaptación que puede representarse a nivel conceptual, por lo que un mismo método puede implementarse con varias técnicas. Es decir, un método es una generalización de una o varias técnicas de adaptación. Éstas –parte fundamental en la implementación–, en cambio, son procedimientos para lograr que un SHA se adapte. Cada técnica se caracteriza por representar

específicamente el conocimiento y por tener un algoritmo concreto de adaptación; por tanto, una técnica es susceptible de emplearse para implementar diferentes métodos, sirviéndose de la misma representación del conocimiento.

A continuación se explican los métodos y técnicas relativos Presentación Adaptativa y al Soporte a la Navegación Adaptativa (Brusilovksy, 1996). Adicionalmente, se presenta la Tabla 4 que muestra qué técnicas de Presentación Adaptativa se pueden utilizar con qué métodos y la Tabla 5 que lo hace para el Soporte a la Navegación Adaptativa.

<i>Técnica</i> <i>Método</i>	Texto expansible	Texto Condicional	Variantes de páginas o fragmentos	Basada en marcos
Explicaciones adicionales	X	X		X
Explicaciones de prerrequisitos	X	X		X
Explicaciones comparativas	X	X		X
Explicaciones variantes		X	X	X
Ordenación				X

Tabla 4 - Métodos y técnicas de la Presentación Adaptativa

1. Presentación Adaptativa.

1.1 Métodos. La Presentación Adaptativa provee al usuario de prerrequisitos, explicaciones comparativas o adicionales, da alternativas de explicación (presentar información de diferentes maneras), y reordena la información según el modelo de usuario (De Bra *et al.*, 1999). Para cubrir estos objetivos, se divide en los siguientes métodos:

- Explicaciones adicionales.- Oculta partes de información irrelevantes para el usuario considerando su nivel de conocimiento.
- Explicaciones de prerrequisitos.- Inserta definiciones de todos los conceptos presentes en los prerrequisitos que son desconocidos por el usuario, ejecutándolo antes de presentar una explicación.
- Explicaciones comparativas.- Proporciona explicaciones de semejanza y diferencia entre conceptos, los cuales incluye cuando un concepto similar al presentado se conoce.
- Explicación de variantes.- Almacena diferentes versiones de algunas partes del contenido de la página para mostrar a cada sujeto la más apropiada según su modelo de usuario.
- Ordenación.- Coloca descendientemente, según su grado de relevancia, la información más adecuada para los conocimientos y características del usuario.

1.2 Técnicas. Las técnicas de la Presentación Adaptativa se encargan de manipular el contenido para adecuarlo a las características del usuario. La mayoría de las técnicas se usan para adecuar el texto, pero también se pueden emplear en contenidos multimedia (Kosh, 2000).

- Texto expansible (*stretchtext*).- Cuando se selecciona una palabra marcada (*hot word*) ésta se reemplaza por texto relacionado, contrayendo o expandiendo así la información que se presenta al usuario. La idea es evitar abrumar al usuario con información que no necesita, dejando que elija si desea o no tener más explicaciones sobre un tema en particular.

- b) Texto condicional.- Toda la información sobre un concepto se divide en partes, cada una de las cuales se asocia a una condición relacionada con el nivel de conocimiento del usuario. Cuando se presenta la información el sistema muestra sólo aquella en donde la condición es verdadera.
- c) Variantes de páginas o fragmentos.-
 - Variantes de páginas. El sistema tiene dos o más versiones de la misma página y las presenta de acuerdo a un estereotipo de usuario, como conocimientos, características, etc.
 - Variantes de fragmentos. Una página tiene varios conceptos, el sistema almacena versiones de explicación para cada concepto y el usuario obtiene aquellas que se ajusten mejor al conocimiento que posee sobre cada concepto.
- d) Técnica basada en marcos.- Toda la información sobre un concepto se presenta en forma de marcos (*frames*). Cada marco contiene varias explicaciones, ejemplos, referencias, etc. Se ejecutan reglas para seleccionar qué marco es más apropiado presentar considerando las características del usuario.

2. Soporte a la Navegación Adaptativa.

2.1 Métodos. Los métodos de la Navegación Adaptativa se encargan de ayudar a los sujetos cuando éstos navegan por el hiperespacio, guiándolos, orientándolos o facilitándoles la posibilidad de crear vistas personalizadas a sus intereses:

- a) Guía global.- Se utiliza cuando los usuarios tienen un objetivo de información que se encuentra en uno o varios nodos del WWW, y necesitan navegar para encontrar la información.
- b) Guía local.- Ayuda al usuario a realizar la navegación sugiriéndole los enlaces más relevantes a seguir desde el nodo actual.
- c) Orientación global.- Su objetivo es auxiliar al usuario en su conocimiento sobre la estructura de todo el hiperespacio y su posición absoluta en él.
- d) Orientación local.- Apoya al usuario a entender qué está alrededor y cuál es la posición relativa en el hiperespacio, es decir, qué lo rodea. No es su fin guiar directamente al usuario sino, más bien, auxiliarlo a entender cuáles son los enlaces próximos y a decidir correctamente qué camino seguir.
- e) Gestión de vistas personalizadas.- Organiza un espacio de trabajo electrónico para los usuarios que necesitan acceso a una parte más pequeña del hiperespacio para su trabajo diario. En este caso, los usuarios son los responsables de crear sus propias vistas de información.

2.2 Técnicas. Las técnicas del Soporte a la Navegación Adaptativa manipulan los enlaces que contienen las páginas web para presentar información relevante y apropiada para cada sujeto. Así, existen diferentes maneras de manipular los enlaces; los propuestos por Brusilovsky (1996, 2001) y Kosh (2000) se explican a continuación.

- a) Guía directa.- A partir de las características y objetivos del usuario el sistema decide cuál es el mejor enlace que éste debe seguir y se lo presenta como única opción de navegación en forma de enlace o botón (*next button*). Es la tecnología más simple, sin embargo, restringe por completo la navegación libre y es incapaz de orientar a aquéllos que no siguen los enlaces propuestos.
- b) Ordenación adaptativa de enlaces.- Considerando el modelo de usuario y alguna característica de valor, ordena por relevancia los enlaces de una página. El inconveniente de esta tecnología es que puede desorientar al usuario, ya que cada vez que entre a una

misma página los enlaces que contienen podrían aparecer ordenados de diferente manera debido a las características adaptativas del sistema.

- c) Ocultamiento adaptativo de enlaces.- Esconde, deshabilita o elimina los enlaces que no sean relevantes para el usuario, cuando no son significativos para los objetivos del sujeto o presentan información que no está preparado para comprender. La diferencia entre consiste en que en el ocultamiento se mantiene el texto en el que aparecía el enlace; la deshabilitación remueve la funcionalidad de un enlace, aunque se presente como tal (Carro, 2001); por último, la eliminación de enlaces remueve el enlace para que no esté disponible y, lo reemplaza, por ejemplo, por texto (Kosh, 2000).
- d) Anotación adaptativa de enlaces.- Marca o señala los enlaces para darle al usuario claves sobre su contenido, estado actual o relevancia. Estas claves, que se presentan a un lado del enlace, pueden mostrarse en forma de texto, iconos, colores, viñetas, etc. Este tipo de adaptación puede tomar en cuenta el estado del modelo de usuario (dinámica) o ser independiente del usuario (estática). Algunos ejemplos de esta técnica son la anotación adaptativa booleana (visitado / no visitado; recomendado / no recomendado) o la metáfora del semáforo en donde cada color (rojo, amarillo, verde) representa el grado de conveniencia o pertinencia que tiene el enlace para el usuario.
- e) Generación adaptativa de enlaces.- Este tipo de adaptación, etiquetada como una tecnología de adaptación de alto nivel, incluye tres casos: descubrir nuevos enlaces útiles entre documentos y agregarlos permanentemente al conjunto de enlaces existente, generar enlaces para navegación basados en la similitud entre elementos, y recomendaciones dinámicas de enlaces relevantes.
- f) Mapas adaptativos.- Modifica la estructura de mapas hipermediales (i.e. estructuras de navegación gráficos) para cada individuo según su modelo de usuario.
- g) Navegación pasiva.- Consiste en agregar enlaces no-explicitos (sin texto de enlace) para ofrecer ayuda al usuario cuando se detecta un patrón de conducta, por ejemplo, que el usuario permanece inactivo durante cierto periodo de tiempo o navega para adelante y para atrás (Kosh, 2000).

<i>Técnica</i>	<i>Guía directa</i>	<i>Ordenación</i>	<i>Ocultamiento</i>	<i>Anotación</i>	<i>Generación</i>	<i>Mapas</i>	<i>Navegación Pasiva</i>
<i>Método</i>							
Guía global	X	X			X		X
Guía local	X	X	X	X	X	X	X
Orientación global			X	X	X	X	
Orientación local		X	X	X	X	X	
Gestión de vistas personalizadas	X	X	X	X			X

Tabla 5 - Métodos y técnicas del Soporte a la Navegación Adaptativa

3.7. Taxonomía

Brusilovsky (2001), revisando su propia clasificación (Brusilovsky, 1996), agrupa las tecnologías hipermedia adaptativas como se muestra en la Figura 4.

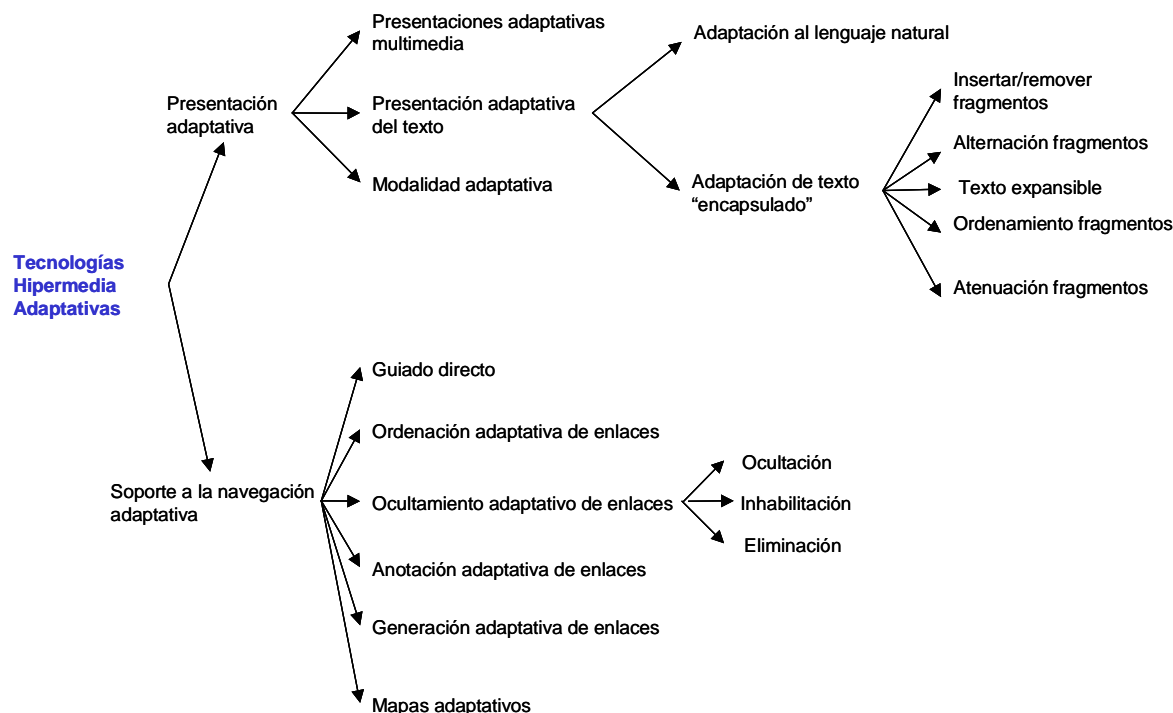


Figura 4 - Taxonomía de las tecnologías hipermedia adaptativas (Brusilovsky, 2001)

Esta propuesta es ampliamente utilizada y referenciada en el campo de los SHA, sin embargo, Bailey *et al.* (2002) señalan que, desde su perspectiva, dividir la clasificación de las tecnologías de adaptación de acuerdo al contenido y a la navegación no es del todo apropiado, ya que realmente de lo que se habla en ambos casos es de una secuencia de adaptación, en donde el contenido se adapta linealmente dentro del documento (intra-documento), y la navegación se adecua hiperestructuralmente entre los documentos (inter-documento). Además, la clasificación de Adaptación del Lenguaje Natural (*Natural Language Adaptation*) no sólo se aplica en el contenido, sino también en la navegación, lo que refuerza más la idea de que el primer nivel de la taxonomía (contenido y navegación) no es adecuada.

Otra cuestión que señalan estos autores es que todas las subcategorías de ocultamiento adaptativo de enlaces son estructuralmente equivalentes, ya que la implementación de una implica realizar las otras. Por otro lado, varias de las tecnologías relacionadas con la presentación adaptativa del texto se aplican a varios medios. Aunado a ello, la adaptación de la modalidad puede ser vista como una alteración de fragmentos, ya que contar con varias representaciones en diferentes medios implica seleccionar el mejor tipo de medio, lo que en realidad es un proceso de elección de fragmentos.

Igualmente, argumentan que la tecnología de adaptación de mapas es vaga y confusa, ya que desde un punto de vista estricto, adaptar un mapa requiere de técnicas adaptativas relacionadas con enlaces y alteración de fragmentos. Esta idea es equiparable a la expuesta por Kosh (2000), que señala que el único rasgo diferencial de esta técnica es que se relaciona con la visualización gráfica de la estructura de navegación.

Desde nuestro punto de vista, otra observación que cabe señalar en relación a la separación de presentación adaptativa del texto y del material multimedia, es que el texto puede verse como otro elemento multimedia más, y en contraparte el material multimedia puede adaptarse mediante la inserción, alteración, u ordenación de elementos multimediales. Por lo que se desprende que no debería existir diferencia alguna entre adaptar el texto o el material multimedia, pues en realidad se trata de una adaptación de elementos u objetos de contenido.

Cabe mencionar otras propuestas de taxonomía, como la planteada por Koch y Rossi (2002). Estos autores clasifican las técnicas de adaptación (que llaman personalización) separando el

contenido de la presentación –no como en el caso de la taxonomía de Brusilovsky que agrupa estos dos rubros–, y considerando la personalización de enlaces:

- Personalización del contenido.- Selecciona un tipo de información (texto, imágenes, vídeos, animaciones, etc.) dependiendo del modelo del usuario.
- Personalización de la presentación.- Muestra diferentes diseños de interfaz seleccionando entre diferentes tipos de medios, orden, colores, tipo y tamaño de letra o tamaño de las imágenes. Entre los métodos de la personalización de la presentación se encuentra el de multi-lenguajes, que se relaciona con la preferencia del lenguaje de interacción que prefiere el usuario, y el método de alternativas de composición o diseño (*layout variants*) que tiene que ver con las diferentes formas de presentar la información (por ejemplo, los colores, tamaños y tipos de letra, etc.). Por su parte, las técnicas de la personalización del contenido, exceptuando la de texto extendido, son las mismas que la de la presentación adaptativa, aunque existe una técnica adicional llamada guía de estilos (*styleguiding*) que consiste en definir plantillas de presentación para utilizarlas con la técnica de alternativas de composición (Kosh, 2000).
- Personalización de enlaces.- Modifica la apariencia, la cantidad o el orden en que se presentan los anclajes (*anchors*), o el objetivo al que apunta el enlace. Nótese que en esta clasificación se hace una distinción entre enlace y anclaje, cuando usualmente ambos conceptos se manejan como adaptación de enlaces.

3.8. Ventajas y desventajas

Ante el conjunto de características, posibilidades y áreas de aplicación que poseen los SHA, es interesante conocer sus ventajas y desventajas para delimitar su alcance y explorar y explotar sus beneficios.

En cuanto a las ventajas, cabe remarcar que la característica más potente de este tipo de sistemas es su capacidad para comportarse de diferentes maneras según cada tipo de usuario, y así proveer espacios de interacción únicos para cada individuo. No obstante, esto puede causar confusión al usuario, ya que según se aprende el material, el sistema presentará los contenidos o los enlaces de manera diferente.

Otra ventaja importante es que los SHA facilitan la comprensión del material gracias a que la presentan de acuerdo con el nivel de conocimiento y características de cada individuo. Sin embargo, esto requiere, en la mayoría de los casos, de un proceso de creación de contenidos que implica definir diferentes versiones de fragmentos de información, y estructurar el conocimiento adecuadamente.

Con el fin de mostrar y comparar las ventajas y desventajas de los SHA se presenta la Tabla 6 (adaptada de De Bra, 2000a).

Ventajas	Desventajas
Los contenidos y alternativas de navegación que se presentan a los estudiantes son relevantes y comprensibles por cada uno de ellos.	El proceso de creación de contenidos requiere de tiempo y es, en cierta media, complicado.
Un hipermedia adaptativo tiene el potencial de ofrecer a los estudiantes cierta libertad en el orden en que desean estudiar el material.	La libertad en el orden en que se estudia el material puede causar confusión al sujeto.
La información puede presentarse con nivel de dificultad, estilo de presentación y medio adecuado a cada usuario.	Es necesario crear versiones diferentes de fragmentos o páginas. Generalmente, el autor debe indicar al SHA qué versión utilizar con qué usuario.

Se puede proveer a los usuarios de recorridos a través de información relevante y “lista” para consultarse (la información es relevante para el usuario y éste cuenta con los conocimientos necesarios para verla).	Si se omiten o definen erróneamente las relaciones de los prerequisites con el contenido, la guía o recorridos se realizarán a través de páginas que no son relevantes, o que el usuario no puede aún comprender.
Un hiperdocumento se adapta a un modelo de usuario, éste es capaz de evolucionar (gracias a la interacción del usuario con el sistema, éste “aprende” del usuario) y comportarse de acuerdo a lo aprendido por el usuario.	Cada vez que un usuario visita una página la información que contiene puede aparecer de manera diferente. Fragmentos de información y enlaces pueden estar presentes o haber sido omitidos, lo que puede causar confusión.

Tabla 6 - Ventajas y Desventajas de los SHA

4. Ejemplos de sistemas hipermedia adaptativos en el ámbito de la educación

Todas las ventajas de los SHA aportan importantes beneficios para los contextos de aprendizaje tanto presenciales como a distancia. Por tanto, una vez explicada la naturaleza de los SHA, es nuestra intención centrarnos en el Hipermedia Educativo, para lo cual se explican diferentes sistemas diseñados con fines instructivos que aplican algunas de las tecnologías hipermedia adaptativas. Para cada uno de los ejemplos que se exponen presentamos su finalidad, los modelos que utilizan, las técnicas de adaptación que emplean y, en algunos casos, la interfaz de usuario con la que cuentan y el proceso para la creación de contenidos.

4.1. ELM-ART

Su desarrollo comenzó en 1996, partiendo del sistema inteligente *in site* ELM-PE (*Episodic Learning Model- Program Environment*) (Weber y Möllenberg, 1994) que empleaba como recurso de apoyo al curso de introducción al lenguaje de programación LISP en la Universidad de Trier (Alemania). Con ayuda de este sistema los alumnos complementaban sus clases presenciales realizando ejercicios de programación empleando las diferentes herramientas con las que contaba el sistema –solución de análisis de problemas, programación basada en ejemplos, pruebas avanzadas, y facilidades de localización y seguimiento de errores (*debug*) – pero, al ser dependiente de la plataforma, se decidió migrarlo al WWW, naciendo así el sistema hipermedia adaptativo ELM-ART (Weber y Brusilovsky, 2001).

ELM-ART (*Episodic Learner Model- Adaptive Remote Tutor*) (Brusilovsky *et al.*, 1996; Weber y Specht, 1997; Weber y Brusilovsky, 2001) es un sistema tutor inteligente que, al igual que su antecesor, soporta el aprendizaje de programación en LISP pero emplea la Web. Está basado en el Modelo de Aprendizaje Episódico (*Episodic Learner Model*) que representa el conocimiento procedimental necesario para resolver problemas.

A continuación se explica el dominio del conocimiento, el modelo de usuario, y las técnicas de adaptación que utiliza ELM-ART.

4.1.1 Dominio del conocimiento

Su estructura se organiza a partir de un glosario y de un libro de texto electrónico indexado. El glosario representa una visualización de la red del dominio simulando la estructura pedagógica del corpus del conocimiento. Cada entrada del glosario corresponde a un concepto del dominio, proveyendo una descripción, y proporcionando enlaces a cada sección relacionada. En consecuencia, se trata de un glosario y de un índice integrado.

El contenido del libro de texto se estructura jerárquicamente en capítulos, secciones, subsecciones y elementos. Cada nivel terminal puede contener una presentación atómica del contenido, ejemplos, problemas, o evaluaciones.

También utiliza conocimiento sobre la resolución de problemas, que se estructura en una red de conceptos, planes y reglas –tomada de ELM-PE– formando la Red Conceptual de LISP, que contiene tanto los conceptos de LISP como la relaciones existentes entre ellos. Estas relaciones se definen de acuerdo a sus características dentro de la estructura, es decir, como del tipo “parte-de” o “es-un”.

4.1.2 Modelo de usuario

ELM-ART representa el modelo de usuario a través de un Modelo del Estudiante en Capas (*Overlay Student Model*⁸) que computa los estados educativos de cada concepto y genera la anotación de enlaces. Las unidades del curso se indexan con la Red Conceptual de LISP (llamada *LISP Conceptual Network*), con lo que se obtiene para cada unidad una lista de conceptos relacionados a dicha unidad (lo que se denomina espectro de la unidad – *spectrum unit*) y, para cada concepto, el tipo de relación que representa.

4.1.3 Técnicas de adaptación

1. Anotación de Enlaces (*Link Annotation*). Teniendo en cuenta el estado del conocimiento del alumno a través del modelo de usuario, utiliza claves visuales para mostrar el estado educativo de cada enlace. Los estados educativos señalan contenidos conocidos (remarcados en color amarillo), listos para ser aprendidos (mostrados en verde con tipo de letra negrita) e inadecuados para ser aprendido (indicados en rojo con letra itálica).
2. Ordenación de Anotaciones (*Sorting Annotation*). Presenta una lista de enlaces, clasificada por grado de importancia, de los ejemplos más relevantes para el usuario.
3. Ayuda en Prerrequisitos. Aparece cuando el alumno visita una página que no es apropiada para ser aprendida, o cuando éste solicita ayuda utilizando un botón para tal fin, es decir, existen dificultades para entender una explicación, ejemplo o problema.
4. Soporte Inteligente a la Resolución de Problemas (*Intelligent Solving Problem Support*). Emplea ejemplos para explicar conceptos, prevé la manera en que el estudiante resuelve un problema y encuentra los ejemplos más relevantes, que muestra ordenados descendientemente según el grado información trascendental para el alumno. Adicionalmente, cuando un estudiante encuentra dificultades para resolver un problema, diagnostica el código escrito por éste y despliega mensajes de ayuda con explicaciones detalladas, empezando por definiciones vagas y, si el alumno no ha sido capaz escribir la solución, corrigiendo sus errores. Con esto, se busca que el estudiante no requiera de la guía directa y presencial de un profesor para resolver sus dudas, cuestión por demás relevante para el aprendizaje basado en Web.

4.1.4 Segunda generación: ELM-ART II

El uso, exploración e investigación alrededor de ELM-ART, llevó a determinar que era necesario mejorar la técnica de anotación adaptativa, de tal forma que los alumnos contaran con información sobre el estado de los conceptos que habían visitado y aprendido o que debían aprender. También se estableció que no era apropiado inferir el conocimiento de un alumno partiendo del simple hecho de su visita a una página que explicara un concepto. Teniendo en cuenta estas ideas se desarrolló ELM-ART II (Weber y Brusilovsky, 2001), agregando ejercicios y pruebas cuyos resultados se toman en cuenta para juzgar o inferir el conocimiento del estudiante. Se mejoró el modelo de usuario introduciendo el Modelo Multicapas (*Multi-Layered Model*) que utiliza cuatro estados para especificar el estado del conocimiento del usuario. La primera (estado visitado), describe cuando un usuario ha

⁸ El *Overlay Model* representa como una “capa” -que “cubre” el dominio del conocimiento- un valor estimado del nivel de conocimiento de cada individuo sobre cada concepto. Estos valores pueden representarse binaria, cualitativa o cuantitativamente (Brusilovsky, 1996).

estado en una página correspondiente a una unidad de aprendizaje, actualizándose cada vez que el alumno visita la página. La segunda capa (estado aprendido) contiene información sobre qué pruebas o ejercicios ha realizado el estudiante de una unidad en particular y los resultados que obtuvo. La tercera capa (estado inferencia) describe si el conocimiento de un alumno sobre una unidad puede ser deducido considerando el trabajo de éste en otras unidades más avanzadas; cada vez que una unidad se reconoce como aprendida se sigue un proceso recursivo en donde la información se actualiza en todas las unidades inferidas hasta que una unidad es marcada como aprendida o inferida. Por último, la cuarta capa (estado conocido) se encarga de describir una unidad cuando ha sido marcada como aprendida.

Además se mejoraron las características adaptativas de ELM-ART, y se agregó el concepto de Secuencia Individual del Currículo (*Individual Curriculum Sequencing*) que tiene en cuenta el conocimiento actual del estudiante para mostrar al alumno cuál es el mejor siguiente paso, etapa o información a consultar, así como sugerirle qué contenidos deberían ser aprendidos al terminar cada unidad.

A su vez, la adaptación de enlaces (véase la Figura 5) se mejoró para que considerara el estado de aprendizaje del alumno y mostrara claves visuales más potentes:

- Viñetas verdes. Indican que se sugiere visitar la página, ya que el alumno está listo para aprender los conceptos mostrados. Esto es, los prerrequisitos se han aprendido o el sistema ha inferido que son conocidos.
- Viñetas rojas. La página no está lista para ser aprendida. El estudiante no conoce al menos un prerrequisito. Sin embargo, el usuario puede visitar la página si contesta correctamente las pruebas y ejercicios, ya que el sistema infiere que todos los prerrequisitos anteriores se conocen.
- Viñetas blancas. Dependiendo de la página a la que hace referencia señalan diferentes significados. Si se trata de una página terminal con ejercicios, pruebas o problemas, señala que estos se han resuelto correctamente. Si es otro tipo de página terminal señala que la página ha sido visitada. En el caso de que se trate de un enlace a una lección, sección o subsección, indica que todas las páginas subordinadas han sido resueltas correctamente o visitadas.
- Viñetas naranjas. Señalan diferentes significados. Si se trata de una página terminal, el sistema infiere (gracias a que otras páginas fueron contestadas correctamente) que el alumno conoce el contenido. En el caso de un enlace a una lección, sección o subsección indica que se ha visitado, pero no todas las páginas subordinadas se han resuelto correctamente.

Esta nueva versión mantiene el Modelo de Usuario en paralelo del sistema y permite a los alumnos especificar qué conocimientos dominan o cuáles desean reforzar. Cuando el alumno modifica su modelo de usuario obtiene información de qué páginas ha visitado, cuáles recomienda el sistema sean visitadas y cuáles no. Además, para cada concepto se muestra el porcentaje de aprendizaje (i.e. los puntos obtenidos) hasta ese momento (véase Figura 6).

Asimismo provee herramientas de comunicación como correo electrónico, *chat*, foros de discusión e intercambio de documentos a nivel grupo de usuarios, herramientas que, aunque no son adaptativas, soportan el proceso de comunicación e interacción en los procesos de aprendizaje (Weber y Brusilovsky, 2001).



Figura 5 - ELM-ART: Anotación Adaptativa de Enlaces

Siguiendo esta línea de desarrollo, en los últimos años se ha trabajado en la creación de la plataforma ART-Web (Weber, 1999), que sirve para crear cursos adaptativos basados en el modelo *Multi-Layered Overlay*. Proporciona diferentes tipos de ítems para las pruebas y herramientas de comunicación y ofrece plantillas para describir páginas, agregar pruebas o ejercicios. Algunos de los desarrollos que se han realizado utilizando esta plataforma son un curso de enseñanza del lenguaje de programación LISP, un curso de introducción a la estadística (AST⁹- *Adaptive Statistics Tutor*) y un curso sobre drogas¹⁰.

Aunado a esto, se ha creado un producto comercial llamado NetCoach (www.net-coach.de), un sistema tutor que utiliza Internet como plataforma de enseñanza para soportar y facilitar la edición de material de aprendizaje. Su intención es proveer de un ambiente adaptativo con capacidades multimedia, de interacción, adaptables, de comunicación, retroalimentación y herramientas para llevar a cabo tutorías.

Todos estos sistemas utilizan la plataforma Common LISP Hypermedia Server CL-HTTP. Adaptan las páginas en tiempo de ejecución (al-vuelo – *on-the-fly*) teniendo en cuenta el texto del curso (que está en HTML) y la base del conocimiento. Para el soporte en la resolución de problemas,

⁹ Este sistema se detalla posteriormente en este trabajo.

¹⁰ Para más información consultar <http://www.psychologie.uni-trier.de:8000/projects/ELM/elm.html>.

utilizan formas en HTML y las envían a un servidor LISP para que las resuelva. Finalmente muestran el resultado al alumno.

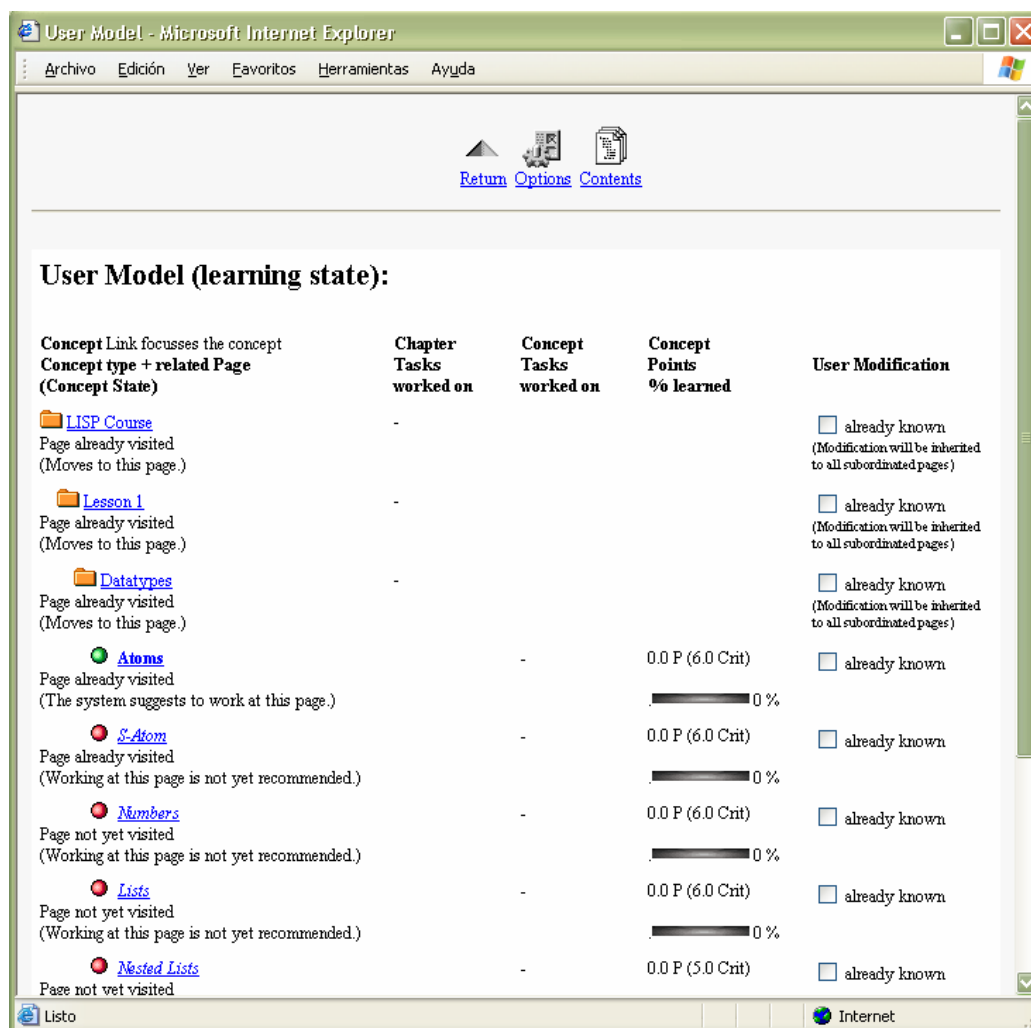


Figura 6 - ELM-ART: Modelo de Usuario

4.2. InterBook

InterBook (Brusilovsky *et al.*, 1998; Schwarz *et al.*, 1996; Eklund *et al.*, 1997) empezó a desarrollarse en 1995 siguiendo un enfoque basado en conceptos. Se trata de un sistema de autor que implementa la arquitectura definida en ELM-ART para constituir materiales educativos en línea mediante la metáfora del libro, presentándolos como un conjunto de libros de texto electrónicos adaptativos sobre el mismo tema.

La clave adaptativa de InterBook está sustentada en la presencia de dos tipos de conocimiento que se complementan: el Modelo del Dominio y el Modelo del Estudiante. A continuación se profundiza en ellos, así como en las técnicas de adaptación que maneja este sistema.

4.2.1 Modelo del dominio

Representa el conocimiento que se desea transmitir, por lo que se constituye como la base para estructurar cada libro electrónico. En su forma más simple, emplea únicamente conceptos (como temas, elementos de aprendizaje, objetos, etc.) definidos como piezas elementales del conocimiento sobre el dominio tratado; en su forma más avanzada utiliza una red de nodos interconectados

mediante enlaces. Los nodos representan los conceptos del dominio, mientras que los enlaces reflejan las diferentes clases de relación que existe entre dichos conceptos.

Cada libro se estructura a partir de su contenido y de un glosario. Este último, parte central en la estructura de InterBook, se considera una visualización de la red del dominio del conocimiento. Cada elemento de esta red representa un nodo del hiperespacio en donde los enlaces entre los nodos constituyen recorridos probables, simulando así la estructura pedagógica del dominio del conocimiento. Recíprocamente, cada entrada del glosario corresponde a una descripción de cada concepto, por tanto – al igual que en ELM-ART– se trata de un glosario y un índice integrado.

En InterBook cada libro de texto electrónico se estructura jerárquicamente en unidades de información en forma de capítulos, secciones, subsecciones y elementos. Cada nivel terminal es una presentación atómica, ejemplo, problema o evaluación. Con el fin de proveer de “inteligencia” a las unidades del libro de texto, éstas se indexan con los conceptos. Las unidades terminales se asocian a una lista de conceptos relacionados que especifica para cada concepto su nombre y su tipo de rol, que puede ser resultado o prerrequisito.

Finalmente, diversos libros electrónicos sobre un mismo tema se agrupan formando una estantería de libros (*Bookshelf*) e indexándose con los mismos conceptos. Ello con el objetivo de que los alumnos utilicen varios libros a la vez y realicen búsquedas.

4.2.2 Modelo del estudiante

Almacena y estructura el conocimiento sobre cada estudiante que interactúa con Interbook. Está basado –al igual que ELM-ART– en el *Overlay Student Model*, que guarda todas las acciones que realiza el estudiante en su interacción con el sistema y las utiliza para aumentar o disminuir el nivel de detalle o dificultad de los conceptos que se presentan.

4.2.3 Técnicas de adaptación

La funcionalidad adaptativa con la que cuenta InterBook está enfocada básicamente en auxiliar a los estudiantes en cuestiones relacionadas con los recorridos que efectúan a través del material, proporcionándoles herramientas avanzadas para la navegación, soporte a la navegación adaptativa, y ayuda basada en prerrequisitos. A continuación se detallan dichas técnicas.

- Navegación avanzada.
 - Herramientas para realizar navegación secuencial y jerárquica.
 - Enlaces entre el glosario y el contenido del libro de texto y viceversa, las cuales se generan en tiempo de ejecución considerando el modelo del estudiante.
- Soporte a la Navegación Adaptativa.
 - Anotación adaptativa de enlaces.- Proporciona claves visuales para señalar el tipo y el estado educativo de cada enlace. La distinción de los estados educativos se basa en el Modelo del Estudiante y se representa empleando colores: blanco para el estado “conocido por el estudiante”, verde para el estado “listo para ser aprendido” y rojo para el estado “no listo para ser aprendido”. Del mismo modo, los niveles del conocimiento del estudiante se etiquetan con diferentes tamaños de marcas: pequeña para “se ha comenzado a aprender”, mediana para “aprendida”, y grande para “muy bien aprendida”. La ausencia de marca representa el nivel “desconocido”.
 - Guiado directo.- El sistema sugiere al estudiante la siguiente parte del material que debe aprender, lo que le ayudará a tomar la decisión de por dónde navegar.
- Ayuda basada en prerrequisitos. Dirigida a la resolución de problemas y no a conseguir objetivos. Genera una lista de enlaces a todas las secciones que presentan información sobre los conocimientos previos para entender la sección actual, se ordenan de acuerdo al Modelo del Estudiante, y se presentan por orden de relevancia donde la primera ocurrencia es la más significativa.

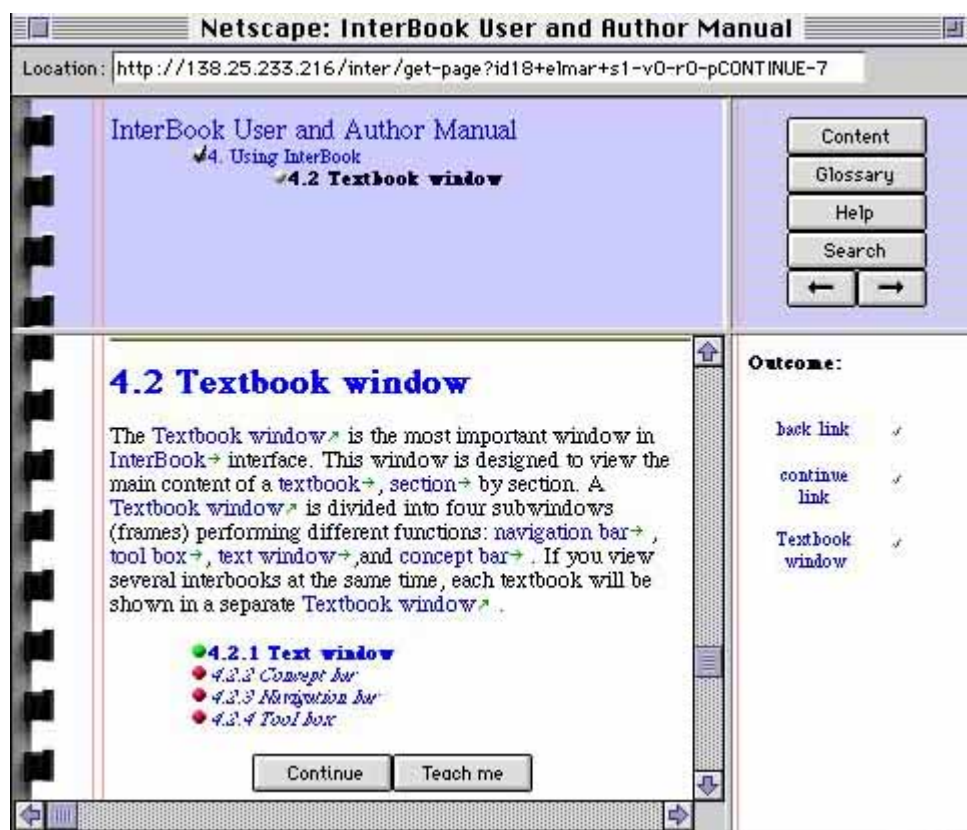


Figura 7 - InterBook: Interfaz

La interfaz para los alumnos con la que cuenta InterBook (véase Figura 7) utiliza múltiples ventanas y marcos, cada uno dedicado a un componente. Así, por ejemplo, una ventana muestra el contenido del libro de texto, otra despliega el glosario, y otra provee de ayuda basada en prerequisites.

En contraste, la interfaz para la creación de contenidos que utilizan los diseñadores instructivos es totalmente manual. Sus creadores defienden que está definida de este modo con el objetivo de ayudar al autor a transferir un libro de texto normal a un libro de texto adaptativo, pero también reconocen que puede mejorarse mucho. El proceso de creación de contenidos educativos que tiene que seguir el profesor que utiliza InterBook es el siguiente:

1. Crear un archivo en Microsoft Word con estilos (título, subtítulo, etc.) que define qué conceptos se encuentran en qué sección y si éstos son resultados o prerequisites.
2. Guardar el archivo en formato RTF, utilizando el programa RTFtoHTML que convierte en HTML el archivo.
3. Alterar manualmente la extensión del archivo a “.INTER” para que sea reconocida por el sistema.
4. Enviar el archivo al servidor de InterBook –Common Lisp Hypermedia Server CL-HTTP– que transforma la información a marcos (*frames*), y posteriormente estructura la información utilizando el lenguaje LISP.

Una vez realizados estos pasos, InterBook adapta los contenidos en tiempo de ejecución considerando el Modelo del Estudiante, el Modelo del Dominio y los fragmentos del archivo HTML.

4.3. AST

AST –*Adaptive Statistics Tutor*– (Specht *et al.*, 1997), también basado en la arquitectura de ELM-ART –e igualmente desarrollado en la Universidad de Trier–, es un curso adaptativo para la enseñanza introductoria a la Estadística. Utiliza como plataforma WWW-Server CL-HTTP para generar contenidos adaptados a las características, conocimientos, resultados obtenidos en evaluaciones, y estilos de aprendizaje preferidos por los estudiantes. Para lograrlo cuenta con tres subsistemas: el Módulo del Dominio Experto, el Modelo Pedagógico Experto, y el Modelo del Estudiante.

4.3.1 Módulo del dominio experto

Almacena la descripción de los conceptos que se desean transmitir y las relaciones existentes entre ellos. El conocimiento se estructura en una red conceptual que contiene diferentes tipos de unidades de aprendizaje (lecciones, secciones, subsecciones y conceptos) que se asocian a los conceptos. Los tipos de conceptos que maneja el sistema son:

1. *Texto de enseñanza (Teachtext)*.- Explican los conceptos que se presenta. Pueden ser, por ejemplo, introducciones, resúmenes o estrategias. Para cada concepto se define un texto de enseñanza en tres niveles de detalle. El primero contiene información básica, el segundo explica conceptos a mayor detalle, y el tercero da información detallada y pistas o consejos. El valor de confianza de cada concepto se incrementa dependiendo del nivel de detalle que el usuario haya definido.
2. *Juegos interactivos (Interactive Playgrounds)*.- Demostraciones interactivas que se proporcionan al estudiante para reforzar el proceso de aprendizaje.
3. *Ejemplos*.- Modelos o patrones sobre un concepto en particular.
4. *Evaluaciones*.- Exámenes o pruebas para valorar el conocimiento. Existen cuatro tipos: respuestas si-no, selección múltiple, completar espacios, y formato libre.

Cada unidad de aprendizaje contiene prerequisites y “consecuencias” (posibles resultados y efectos a otras unidades de aprendizaje). Además, almacena información sobre los materiales que el estudiante ha utilizado y el grado de éxito que obtuvo. Tanto las evaluaciones como los prerequisites tienen un peso de acuerdo a su nivel de importancia para la comprensión de la unidad.

4.3.2 Módulo pedagógico

Contiene las estrategias de enseñanza para transmitir el conocimiento. Existen dos tipos, las pedagógicas y las de diagnóstico.

Las estrategias pedagógicas están compuestas por una serie de reglas. Para definir las, AST proporciona estrategias por defecto para cada tipo de concepto, aunque también es posible crear nuevas definiciones. Cada una de estas reglas permite al sistema seleccionar adaptativamente, considerando las características del estudiante y el tipo de concepto que se desea enseñar, qué estrategia pedagógica seguirá con cada alumno.

Las estrategias de diagnóstico del conocimiento de los estudiantes se diseñan mediante una herramienta creada para tal fin, que almacena el conocimiento sobre diferentes tipos de evaluaciones en cuanto a cómo se deben generar y valorar. Con esto crea una base de evaluaciones en donde cada ocurrencia se conecta con múltiples conceptos, definiendo así su nivel de dificultad y relevancia. Para modificar el Modelo del Estudiante, el sistema toma en cuenta estas características y las soluciones que el estudiante ha generado.

4.3.3 Modelo del estudiante

Se encarga de almacenar las preferencias de cada estudiante y las unidades de aprendizaje que ha completado.

Cuando un estudiante realiza una acción, el sistema modifica el Modelo del Estudiante teniendo en cuenta el material de aprendizaje ha consultado y sus experiencias previas. Esta información es utilizada para crear el *Overlay Model* que se emplea para dotar de características adaptativas en la secuencia de contenidos, evaluaciones y anotación de enlaces.

La definición inicial del conocimiento del estudiante y sus preferencias se realiza a través de un cuestionario preliminar que busca conocer sus conocimientos previos, preferencias, objetivos, tipo de materiales, estrategia de aprendizaje (ejemplos, lectura de textos, aprender haciendo, etc.), y el nivel de detalle que desea en la presentación de contenidos (básico, medio, detallado con pistas). Esta información y la obtenida en un examen de ubicación que se realiza a cada alumno sobre sus conocimientos de Estadística se utilizan para inicializar el Modelo del Estudiante.

Cada interacción que se efectúa tiene consecuencias sobre el Modelo del Estudiante, que depende del tipo de material de aprendizaje y los parámetros con los que cuenta el sistema. Así, por ejemplo, el nivel de detalle con que el alumno desea que se le presenten los contenidos de enseñanza, si utiliza o no un juego interactivo, o solicita un ejemplo, influyen para incrementar o disminuir el valor de confianza de cada concepto en el Modelo del Estudiante.

Por su parte, las evaluaciones –consideradas la retroalimentación más importante–, poseen un valor de dificultad general y un nivel de relevancia para el concepto valorado. Estas características también aumentan o disminuyen el valor de confianza probabilístico del Modelo del Estudiante. Otros elementos que se consideran para modificar el valor de confianza son la interacción con un concepto y el porcentaje de evaluaciones correctas.

4.3.4 Técnicas de adaptación

Los valores de confianza almacenados en el Modelo del Estudiante son la base para implementar la funcionalidad adaptativa con la que cuenta AST: la anotación adaptativa de enlaces, la secuencia adaptativa, la evaluación adaptativa, y la adaptación de la estrategia de enseñanza predeterminada.

1. Anotación adaptativa de enlaces.- Para cada enlace se muestra un círculo o viñeta que representa información sobre su estado. Se emplea verde para un enlace que se recomienda, naranja para un enlace que es apropiado para visitar y rojo para señalar aquellos enlaces que, debido a que incumple los prerrequisitos, el estudiante no está preparado para consultar o estudiar.
2. Secuencia adaptativa.- Cada vez que el estudiante visita una sección el sistema verifica si posee el conocimiento previo para trabajar con dicha unidad de aprendizaje y presenta exámenes para evaluar aquellos requisitos necesarios. Si el estudiante no es capaz de resolver la evaluación proporcionada, entonces el sistema recomienda trabajar primero con los prerrequisitos. Los estudiantes también pueden preguntar al sistema cuál es el mejor siguiente paso. Para responderles el sistema considera el *Overlay Model* del estudiante y los prerrequisitos de posibles unidades de estudio.
3. Evaluación adaptativa.- Cada evaluación está relacionada con uno o más conceptos que cuentan con un valor de relevancia y de dificultad específico. Considerando estos dos criterios, el sistema modifica el Modelo del Estudiante cada vez que una evaluación es resuelta por un alumno. Las pruebas de dificultad con relevancia alta tienen un impacto mayor en el valor de confianza de una unidad de aprendizaje evaluada.
4. Adaptación de la estrategia de enseñanza predeterminada.- Aunque puede ser refinada por el profesor, el sistema AST cuenta con mecanismos predeterminados para presentar la información a los estudiantes. Para lograrlo, toma en cuenta el cuestionario de introducción, la información sobre las preferencias en el estilo de aprendizaje del alumno, y el control que realiza sobre qué combinaciones y secuencias del material de aprendizaje utiliza más frecuentemente. Una estrategia se valora como exitosa cuando el estudiante muestra resultados suficientes en la evaluación final y las ocurrencias repetidas elevan el valor de confianza del estilo de aprendizaje. Cuando se llega o excede cierto valor, la estrategia de aprendizaje se toma como predeterminada para el estudiante.

La interfaz¹¹ de usuario final de AST (veáse Figura 8) está estructurada en marcos. En la parte superior se muestra el contenido anotado, en el marco central despliega la información, además de iconos anotados, que llevan a textos de enseñanza, a la realización de evaluaciones, o a la obtención de recomendaciones sobre el siguiente enlace a visitar. También cuenta con ayuda en fórmulas y contenidos, índice, herramientas de comunicación y búsqueda.



Figura 8 - AST: Interfaz

4.4. AHA

El sistema AHA (*Adaptive Hypermedia Architecture*) (De Bra y Calvi, 1998; De Bra *et al.*, 2002a; De Bra *et al.*, 2002b; De Bra y Stash, 2002) se desarrolló en la Universidad Tecnológica de Eindhoven (Holanda) a partir de un sistema adaptativo para el curso “Estructuras y Sistemas Hipermedia”. Posteriormente, se ideó AHA, un modelo genérico para crear aplicaciones específicas (educativas o no) con características adaptativas en el soporte a la navegación y en la presentación de contenidos.

La parte central de AHA es la gestión y modificación del modelo de usuario, lo que realiza considerando el nivel de conocimiento del sujeto sobre los conceptos que se presentan. El conocimiento de cada usuario se determina mediante la lectura de páginas y la elaboración de pruebas.

La arquitectura de AHA está inspirada en AHAM (*Adaptive Hypermedia Application Model*) (De Bra *et al.*, 1999) –un modelo de referencia para las aplicaciones hipermedia adaptativas construido para capturar las estructuras y la funcionalidad de la mayoría de los SHA basado en el modelo Dexter

¹¹ AST está disponible en línea en la dirección <http://apsymac33.uni-trier.de:8080/AST>.

(Halasz y Schwartz, 1990)–, se compone de cuatro partes fundamentales: el modelo de dominio, de usuario, de adaptación y el motor de adaptación.

4.4.1 Modelo del dominio

Describe y estructura el dominio del conocimiento que se desea transmitir en términos de conceptos, fragmentos, y páginas, cada uno de los cuales contiene requisitos y reglas de generación para representar vínculos entre éstos.

El uso que se le puede dar a un concepto es muy amplio. Puede precisarse, por ejemplo, como un elemento de información que el usuario sabe, o en el que está interesado, o como sus preferencias de presentación, o como el grado de confianza de que posee ciertas características.

A través de los requisitos y del estado actual del conocimiento del usuario obtenido a partir del Modelo de Usuario, es posible conocer si es propicio o no mostrarle una página. Por su parte, las reglas de generación expresan cómo propagar las modificaciones de un concepto a otro en el modelo de usuario. Es decir, el conocimiento en un concepto puede traer como consecuencia que los valores de conocimiento en otros conceptos se modifiquen. A partir de los requisitos y las reglas de generación se unen los modelos del dominio y del usuario.

4.4.2 Modelo del usuario

Está formado por un conjunto de conceptos que cuentan con una serie de pares de valores de atributos. Éstos se almacenan en una tabla que se modifica cada vez que el usuario navega por la aplicación.

Actualmente, AHA mantiene para cada concepto un atributo numérico con valores entre 0 y 100. Inicialmente el valor para cada página es de 0. Cuando un usuario accede a dicha página se consideran los requisitos y se establecen dos posibilidades: si la página es deseada, el atributo de valor se establece en 100, lo que significa que el sistema “piensa” que el usuario posee el conocimiento necesario para consultar la página; si, por el contrario, la página se considera no deseada, el atributo de valor se incrementa en 35 (o se mantiene sin modificación si ya tenía un valor igual o mayor a 35), esto representa que cuando un usuario lee una página que el sistema determinó que no estaba lista para ser estudiada o leída, sólo se obtiene un conocimiento parcial.

4.4.3 Modelo de adaptación

Contiene las reglas que definen cómo se llevará a cabo la adaptación. Ésta se define a partir de los requisitos, en donde para cada fragmento, página o concepto se pueden establecer relaciones que indican bajo qué circunstancias estos elementos se mostrarán. Además, los requisitos se relacionan con cada fragmento, página o concepto en una relación de uno a más destinos, y su “deseabilidad” no sólo es determinada por aquellas páginas que el usuario ha leído, sino también por aquellas que no ha leído.

4.4.4 Técnicas de adaptación

El motor de adaptación se encarga de ejecutar las reglas definidas en el modelo de adaptación y de llevar a cabo las siguientes técnicas:

1. Fragmentos incluidos condicionalmente.- Agrega explicaciones o elimina elementos según sea el caso (i.e. si son o no deseables).
2. Anotación de enlaces.- Muestra enlaces en diferentes colores de acuerdo al Modelo de Usuario. Aunque es posible cambiar las preferencias de color, AHA toma por defecto los siguientes valores.
 - a. Azul (“bueno”): Indica páginas recomendadas para ser visitadas.
 - b. Violeta (“neutral”): Indica páginas que han sido visitadas con anterioridad, pero que pueden ser adecuadas.

- c. Negro (“malo”): Indica páginas que no son adecuadas para ser visitadas. Cabe aclarar que, al usar el mismo color del texto normal, en realidad este tipo de páginas se esconde.

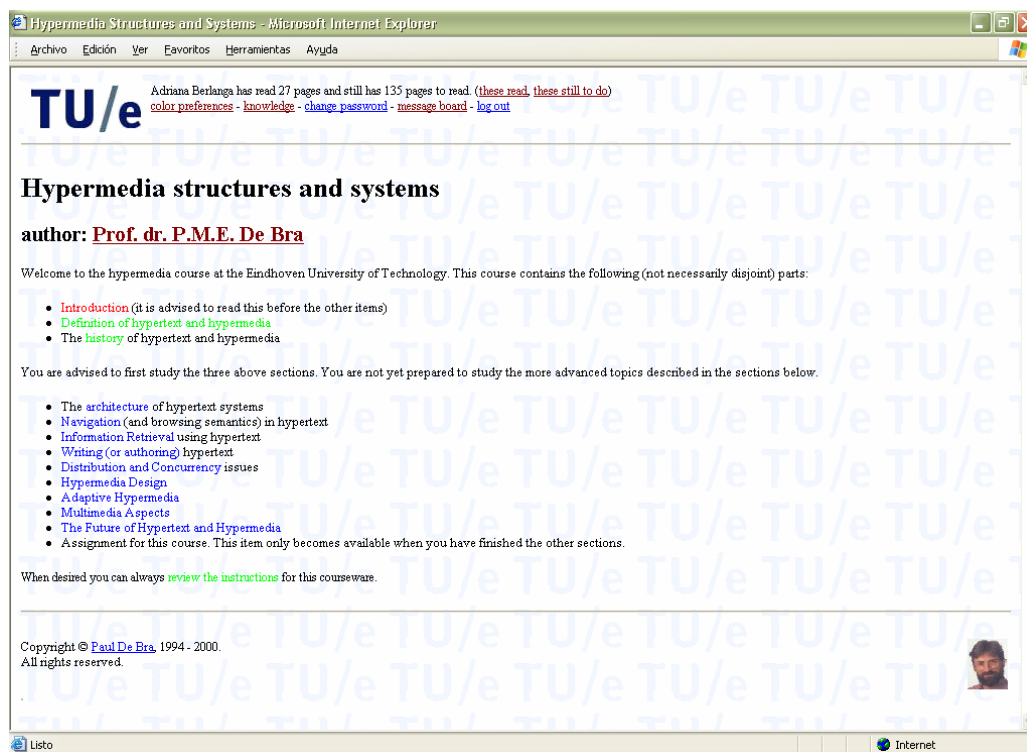


Figura 9 - AHA: Interfaz

Cada vez que un estudiante selecciona un enlace, AHA realiza el siguiente proceso para presentar la información:

1. Recupera la página del servidor.
2. Verifica el dominio del conocimiento que indica cómo está relacionada la página con otras o con conceptos más elevados.
3. Consulta el modelo de usuario para conocer las preferencias del usuario y determinar el conjunto de pares para cada concepto. Verifica el *Overlay Model* para establecer cómo el usuario se relaciona con el contenido de la página y los conceptos del dominio del conocimiento.
4. Consulta el modelo de adaptación para conocer las reglas necesarias para modificar el modelo de usuario basadas en el acceso a la página solicitada y las reglas para adaptar la presentación.
5. Ejecuta las reglas, modifica el modelo de usuario y presenta la página.

Para la creación de Sistemas Hipermedia Adaptativos, AHA facilita una interfaz mediante la cual se especifica la estructura, las relaciones de generación y los requisitos. La estructura que se presenta sigue la metáfora del libro, construida a partir de capítulos, secciones, subsecciones, etc. Cada vez que se añade un concepto o una página es necesario especificar su influencia a otros conceptos y su posición dentro de la estructura.

La Figura 9 muestra la interfaz actual que se presenta al usuario final en la aplicación Estructuras y Sistemas Hipermediales¹² (*Hypermedia Structures and Systems*) creado bajo la plataforma AHA. En

¹² El curso está disponible en línea en: <http://wwwis.win.tue.nl/2L690>.

la parte superior de la pantalla se encuentra el informe de progreso, señala cuántas páginas se han leído y cuántas no. Cuenta con herramientas para especificar la preferencia de color en la anotación de enlaces, modificaciones en los valores del modelo de usuario (véase Figura 10), y lista de mensajes. Aunque la aplicación no maneja marcos, separa claramente los nodos visitados de los que no lo han sido y anota los enlaces convenientemente. Al final de cada sección se presenta una evaluación para determinar si el usuario ha comprendido los conocimientos estudiados a través de la herramienta.

Concept	Value
design	0
architecture	2
adaptive	0
navigation	0
definition	100
retrieval	0
history	100
multimedia	0
future	0
distribution	0
introduction	10
authoring	0
final	0
instructions	100
advanced	44

Figura 10 - AHA: Conocimiento sobre conceptos

4.5. KBS-Hyperbook

KBS-Hyperbook (Henze y Nejdí, 1999; Henze *et al.*, 1999). Desarrollado en la universidad alemana de Hannover, permite modelar, organizar y mantener sistemas hipermediales bajo la plataforma WWW. Dentro de las sus áreas de aplicación están los libros hipermediales educativos, definidos como aplicaciones que permiten la distribución, mantenimiento y personalización de los materiales de enseñanza.

Este sistema sigue un enfoque de aprendizaje constructivista en donde el proceso de enseñanza se lleva a cabo mediante proyectos, trabajo en grupo y discusiones. Su diseño está formado por un modelo del dominio del conocimiento y un modelo del estudiante.

4.5.1 Modelo del dominio del conocimiento

El conocimiento se representa por Ítems del Conocimiento (*Knowledge Items- KI*) que se utilizan para definir y ejecutar todas las estrategias de adaptación que sigue KBS-Hyperbook. Los KI denotan un concepto del dominio de forma elemental, aunque también se pueden conectar a gráficas de dependencia.

Los KI se dividen en Unidades de Información (UI) y en Unidades de Proyectos (UP). Ambas unidades hacen referencia al contenido que será desplegado en el WWW como páginas del KBS-Hyperbook.

Las Unidades de Información son semánticas, por lo que no están relacionadas con partes sintácticas o estructurales de la información como secciones o capítulos. Su estructura de navegación se genera dinámicamente, de tal manera que cada enlace entre las Unidades de Información corresponde a algún tipo de relación semántica entre dichas unidades. La anotación de la estructura toma en cuenta las características de cada lector, empleando la metáfora del semáforo para proveer de claves visuales a los estudiantes. Así, el verde se utiliza para un estado “conocido”, el amarillo para “sugerido”, y el rojo para “muy difícil”. Las Unidades de Información se indexan con los Ítems del Conocimiento, lo que hace que: (i) tengan una correspondencia uno a uno; (ii) uno o más KI pertenezcan a una página Web, creando así el conjunto de KI Principales (*Main Knowledge Items*); y (iii) para cada KI exista exactamente una Unidad de Información contenida en el KI Principal.

A su vez, las Unidades de Proyecto definen el rango de los objetivos de aprendizaje de cada estudiante. Están compuestas por descripciones de ejercicios, tareas, o ejemplos, y se indexan por aquellos KI que el estudiante tiene que saber para trabajar exitosamente en el proyecto. Al diseñarlas se busca que representen “problemas del mundo real”.

La relación entre Unidades de Proyecto y Unidades de Información se obtiene automáticamente vía los KI, consiguiendo con ello establecer qué Unidades de Información son relevantes para el proyecto. Para mostrar esta relevancia se anotan los enlaces de tal manera que representen su estado educativo (“conocido”, “sugerido”, “muy difícil”).

4.5.2 Modelo del estudiante

Está fundamentado en el modelo pedagógico de un hiperlibro electrónico. Para determinar las dependencias entre los KI que se mostrarán a los estudiantes emplea los Ítems del Conocimiento y sus prerrequisitos. Por ejemplo:

$$\text{KI: KI}_1 < \text{KI}_2$$

En donde KI₁ es prerrequisito de KI₂. Por tanto, KI₁ tiene que aprenderse en primer lugar y será mostrado primero a los estudiantes.

Para administrar las descripciones del estado actual del conocimiento del usuario se utiliza un vector de Ítems del Conocimiento [KI], que contiene la estimación sobre el nivel de conocimiento de cada usuario. Éste se determina considerando las observaciones que expresan el grado de conocimiento (experto, avanzado, principiante, inicial) que el usuario tiene de un KI. Gracias a que la representación del conocimiento se realiza mediante distribución de probabilidades, es posible definir grados más finos del conocimiento.

Las observaciones del grado de conocimiento de un usuario sobre un KI son entradas directas a una Red Bayesiana¹³ que contiene un nodo por cada Ítem del Conocimiento, expresando las dependencias mediante probabilidades condicionales.

Para actualizar la información del usuario se utiliza la evaluación que éste hace sobre su propio desempeño en los proyectos, y los juicios realizados por expertos sobre su actuación.

4.5.3 Técnicas de adaptación

La funcionalidad adaptativa con la que cuenta KBS-Hyperbook está centrada en cuatro áreas principales:

1. Recursos de información adaptativos.- Provee a los estudiantes información apropiada para realizar proyectos anotando y presentando los recursos necesarios para el trabajo.

¹³ Una red bayesiana es un grafo acíclico que representa dependencia entre determinadas variables para especificar la distribución de probabilidad conjunta. Está construida por nodos que constituyen variables aleatorias conectadas por arcos que especifican dependencias probabilísticas entre dichas variables (Russell y Norvig, 1995).

2. Estructura adaptativa de navegación.- Adapta y anota la estructura de navegación para proporcionar al estudiante información adicional sobre el siguiente material apropiado para leer o explorar.
3. Generación adaptativa de caminos.- Toma en cuenta los objetivos del estudiante para crear opciones que marcan recorridos a través del contenido del libro.
4. Selección adaptativa de proyectos.- Considerando los objetivos de aprendizaje de los estudiantes y sus conocimientos previos, muestra los proyectos más adecuados.

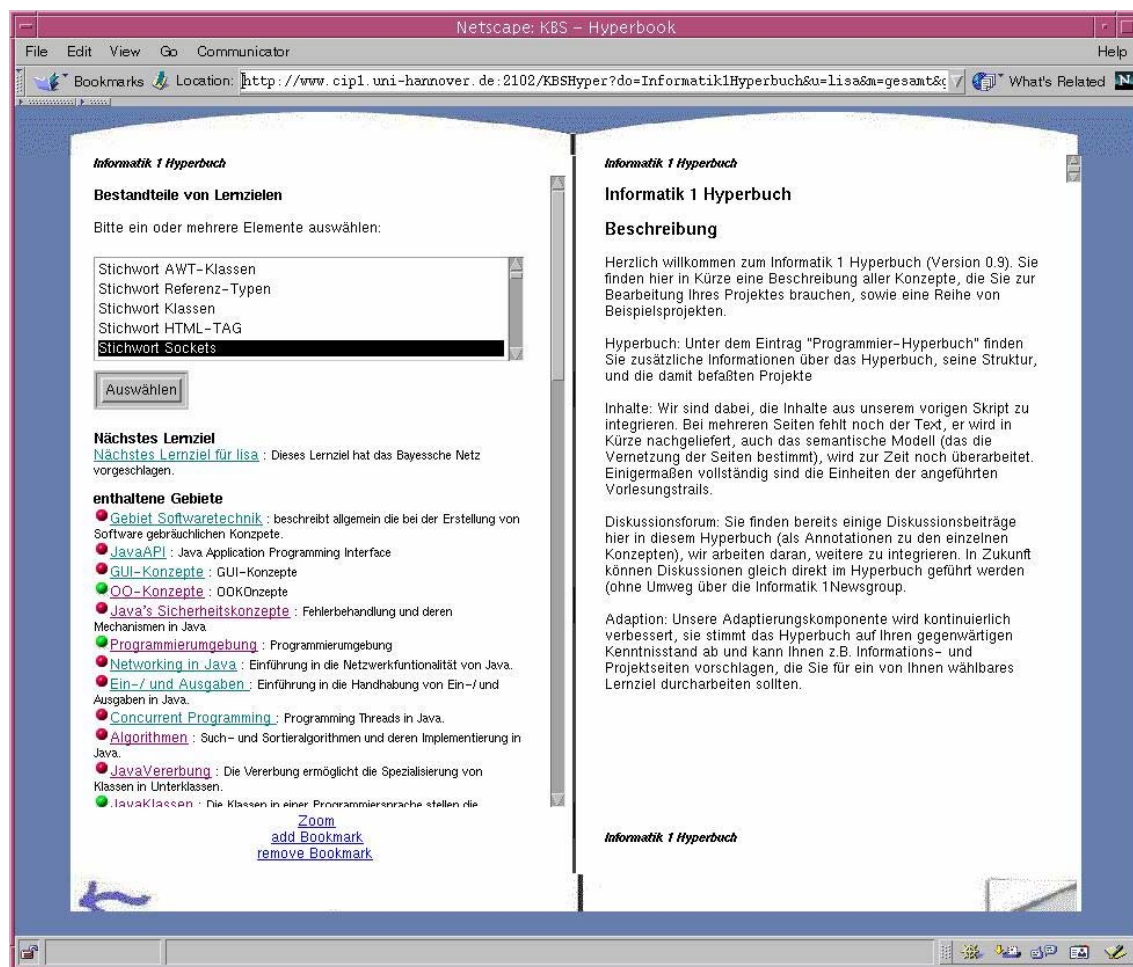


Figura 11 - KBS-Hyperbook : Interfaz

Finalmente, cabe destacar que el modelo de diseño de KBS-Hyperbook separa los metadatos, el modelo conceptual y las unidades de documento. Los primeros incluyen páginas de información, ejemplos, soluciones de estudiantes, caminos guiados, discusiones, etc., destinados a modelar explícitamente todas las unidades relevantes de cada hiperlibro, mientras que los datos y unidades del documento hacen referencia a la información actual. Con esto se consigue implementar un sistema basado en metadatos que utiliza diferentes grupos de abstracciones para visualizar unidades de documento y su relación semántica.

La descripción de los elementos de la estructura y del modelo del dominio está basada en una ontología (i.e. descripción de los conceptos y las relaciones entre ellos) que define un lenguaje de modelado para especificar las propiedades de las entidades en cuanto a conceptos, relaciones, atributos y herencias.

La implementación de KBS-Hyperbook está realizada completamente en el lenguaje Java y reside en un servidor Web de Java, en donde se ejecutan todos los procesos. Existen tres prototipos de libros electrónicos adaptativos, entre los que se encuentra uno sobre Tecnología de la Información y otro sobre el lenguaje de programación Java. La Figura 11 muestra la interfaz de este último.

4.6. TANGOW

TANGOW –*Task-based Adaptive learNer Guidance on the Web*– (Carro *et al.*, 1999; Carro *et al.*, 2000; Carro *et al.*, 2001; Paredes y Rodríguez, 2002) es una plataforma desarrollada en la Universidad Autónoma de Madrid (España) para crear cursos adaptativos en soporte Web que guíen al estudiante en su proceso de aprendizaje mediante el registro de su interacción con el material de estudio.

4.6.1 Creación de contenidos

El contenido de cada curso es definido por el diseñador instruccional mediante la creación de tareas y reglas docentes. Las tareas son las unidades básicas de aprendizaje y se dividen en tareas atómicas o compuestas. Las primeras son unidades conceptuales de información, las segundas son grupos de tareas (atómicas, compuestas, o una mezcla de ambos tipos). Las tareas pueden representar conocimientos teóricos a estudiar, ejemplos a observar, o ejercicios a realizar de manera individual o colaborativamente.

Una regla docente es una lista de subtareas que especifica en qué secuencia se presenta el material. Estas secuencias pueden seguir consideraciones lógicas de los siguientes tipos:

- AND: Requiere ejecutar todas las subtareas en el orden definido en la regla.
- ANY: Requiere realizar todas las subtareas, pero el estudiante decide en qué orden.
- OR: Establece que sólo es necesario efectuar una subtask.
- XOR: Requiere realizar sólo una subtask en particular, pero el estudiante decide cuál.

4.6.2 Modelo del estudiante

La primera vez que un estudiante ingresa a TANGOW es necesario que especifique las características que el profesor haya decidido que son determinantes para ese curso en particular, como por ejemplo su edad, idioma o la estrategia de aprendizaje que prefiere seguir. El perfil es almacenado en una base de datos y utilizado para presentar el curso según las reglas definidas.

Cada vez que el alumno interactúa con el sistema, la información sobre las acciones que realiza se almacena en un árbol de tareas dinámico. Esta información incluye el tiempo dedicado a ejecutar una tarea, el número de páginas visitadas, el total de ejercicios realizados y el número de ejercicios correctamente resueltos.

4.6.3 Técnicas de adaptación

TANGOW considera el modelo del estudiante para ejecutar las siguientes técnicas de adaptación:

1. Presentación Adaptativa.- Teniendo en cuenta las reglas y tareas se va construyendo la estructura del curso de acuerdo al perfil del estudiante, a las interacciones y acciones que ha realizado.
 - a. Perfil del estudiante.- Los perfiles de usuario que definen los diseñadores varían de curso a curso debido a su dependencia del dominio del conocimiento. Los más comúnmente utilizados son la edad, el idioma, los conocimientos previos o la estrategia de aprendizaje predefinida.
 - b. Interacciones.- Pueden ser del tipo teórico o práctico según el tipo de tarea realizada.

2. Inclusión adaptativa de fragmentos.- Muestra diferentes versiones de un mismo fragmento de información para cada perfil de estudiante.
3. Secuencia adaptativa del currículo.- Empleando el cuestionario ILS (*Index of Learning Styles*), propuesto por Felder y Silverman (1988), determina para cada sujeto cuál es su escala en el estilo de aprendizaje secuencial-global (estudiantes lineales y ordenados que aprenden por pasos, frente a alumnos holísticos que visualizan sistemas totales). Si se determina que el estudiante tiene una preferencia de aprendizaje equilibrada entre estos dos estilos, entonces se presenta la secuencia de tareas y reglas docentes definida por el diseñador; en el caso contrario se modifica para adaptarla al estilo de aprendizaje. El árbol de tareas se presenta a cada estudiante siguiendo la metáfora del semáforo en la cual las tareas accesibles se marcan con verde, las que no lo son con rojo, y las que se han realizado con negro.

Este sistema cuenta con dos herramientas para la creación de cursos adaptativos: TANGOW-D (*TANGOW Development*), que automatiza el proceso de creación de cursos, mantiene cursos TANGOW y facilita su instalación, y ATLAS (*Authoring Tool for Adaptive educational Software*) (Macías y Castells, 2001), una interfaz gráfica para construir la estructura de cursos y relacionarla con los perfiles de estudiante.

En la actualidad, se está añadiendo a TANGOW nuevas funcionalidades con el fin de que sea capaz de generar cursos colaborativos adaptativos (Carro *et al.*, 2003). Además se están realizando investigaciones en el área de reconocimiento de patrones en secuencias de navegación para determinar nuevas o distintas posibles necesidades de adaptación y con ello mejorar la calidad de los cursos adaptativos (Ortigosa y Carro, 2003).

4.7. MetaLinks

Aunque desde un enfoque ortodoxo no es posible considerarlo un sistema adaptativo ya que no cuenta con un modelo de usuario propiamente dicho, los creadores de este sistema (Murray *et al.*, 2000a) desarrollado en la Universidad de Massachussets postulan que, por medio de una arquitectura basada en encuestas (*inquiry-based*), descubrimiento y exploración, este sistema logra crear libros hipermedia adaptativos. De manera experimental este desarrollo se ha utilizado para configurar un libro relativo a la introducción de la Geología, llamado *Tectonica Interactive* (véase Figura 12).

El contenido de MetaLinks se almacena en una base de datos relacional en FileMaker y se distribuye a través de un navegador mediante JavaScript y HTML dinámico. Todo el contenido y las herramientas de navegación se crean “al vuelo”. Se mantiene un registro de la interacción que efectúa el usuario en el sistema, que incluye páginas visitadas y herramientas utilizadas.

4.7.1 Técnicas de adaptación

Este sistema cuenta con las técnicas de Soporte Adaptativo a la Navegación y de Presentación Adaptativa del Contenido. En la primera se encuentran:

1. Lectura horizontal.- La secuencia propuesta para seguir el material presenta una lectura en el mismo nivel de generalidad, mostrando como siguiente página el nodo pariente. Si el usuario desea profundizar en un concepto, se utiliza lectura vertical presentando el nodo hijo.
2. Narración suave (*Narrative Smoothing*).- Define que cada página debe asociarse con un párrafo de introducción. Si el usuario accede a una página de forma no estándar la introducción también se presenta.
3. Enlaces tipo no-jerárquico (*Type non-hierarchical Links*).- Permite relacionar cada concepto con otros de diversas maneras, no sólo de forma jerárquica, con lo que cada página tiene un conjunto de ligas relacionadas. Esto es comparable con el concepto de palabras claves (*keywords*).

4. Historia Anotada (*Annotated History*).- Marca las páginas con enlaces tipo para que el usuario sea capaz de determinar en dónde ha estado y por qué ha estado ahí.

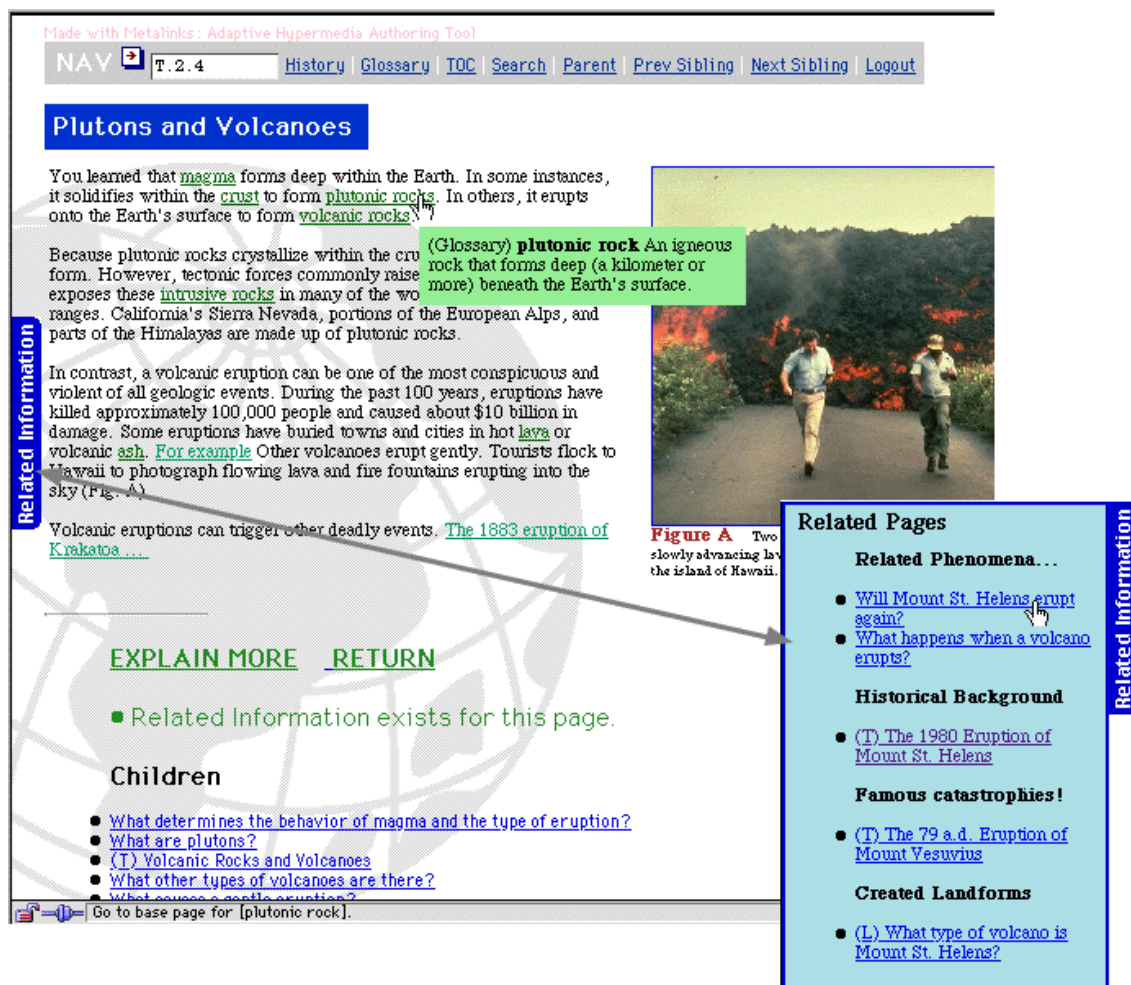


Figura 12 - Metalinks: Interfaz

En relación con la Presentación Adaptativa del Contenido, Metalinks cuenta con una técnica de adaptación llamada *StretchText* que oculta texto y gráficos no esenciales y los muestra cuando el puntero del ratón se arrastra sobre ellos, con lo que se pretende que sea el usuario, y no el sistema, quien decida si quiere o no información adicional.

Una de las características más importantes de este sistema se encuentra en la creación de contenidos educativos. Metalinks cuenta con una herramienta de autor gráfica que permite la elaboración de materiales didácticos y su vinculación con la aplicación.

4.8. Multifunctional Books

Otro sistema hipermedia adaptativo relacionado con la educación y que tampoco cuenta un modelo de usuario es *Multifunctional Books* (Calvi, 1997). Este sistema, creado en Universidad de Antwerp (Bélgica), se desarrolló bajo la tesis de que la adaptación debe considerar las habilidades cognitivas de los sujetos, por lo que, en vez de utilizar técnicas de inteligencia artificial o de sistemas tutores inteligentes, toma en cuenta estereotipos de usuario relativos al conocimiento y diferentes categorías del conocimiento (conocimiento adquirido, nodos prohibidos, conocimiento generado) para presentar o esconder enlaces a nodos de información. Al final de cada capítulo el alumno realiza una evaluación que sirve para determinar las categorías de su conocimiento. La información se presenta

gradualmente, mostrando, según el conocimiento adquirido, diferentes contenidos, principalmente introducciones al tema o versiones avanzadas.

4.9. C-Book

C-Book (Kay y Kummerfeld, 1994) se desarrolló en la Universidad de Sydney (Australia). Es un sistema basado en hipertexto que presenta material individualizado para cada estudiante¹⁴. Como se puede deducir por su nombre, está diseñado como un libro para enseñar el lenguaje de programación C.

Este sistema crea el modelo de usuario considerando los conocimientos previos del alumno sobre otros lenguajes de programación y el tipo de presentación de los contenidos que éste prefiere: abstracto o concreto, general o detallado, aprendizaje activo o dirigido.

El conocimiento se estructura por contextos, siendo un contexto un dominio del conocimiento y las relaciones que existen dentro de cada concepto (llamadas vistas). Tanto el dominio del conocimiento como el modelo de usuario se almacenan en el sistema de modelado de usuario.

Para determinar el conocimiento previo del estudiante, el sistema aplica una encuesta inicial a cada uno. Si esto no permite obtener suficiente información al respecto, se utilizan estereotipos para modelar su conocimiento inicial. El estudiante también tiene la posibilidad de visualizar y modificar su propio modelo de usuario, con lo que se logra que éste sea responsable en la definición de sus propios conocimientos.

4.10. Recapitulación de SHA aplicados a la educación

El repaso realizado de los ejemplos de SHA vinculados con el proceso de enseñanza que se ha dado a lo largo de este trabajo sugiere analizar diversas cuestiones.

En primer lugar, existen varias maneras de abordar el diseño y desarrollo de SHA con características educativas. La mayoría centra su atención en resolver cuestiones como la de proveer a los alumnos de materiales de aprendizaje con propiedades adaptativas, o facilitar a los profesores herramientas para la creación de contenidos. En pocos casos se especifica en profundidad el análisis desarrollado para definir los objetivos que pretende alcanzar el SHA, o la especificación del modelo de interacción alumno-ordenador idóneo durante el proceso de aprendizaje. Ambos puntos, la definición de objetivos de aprendizaje y el proceso que se seguirá para conseguirlos, son fundamentales en cualquier sistema (informático o no) con fines instructivos. A ello se debe agregar que no todos los desarrollos definen con claridad el enfoque pedagógico que siguen.

La manera en que estos ejemplos estructuran el conocimiento que se desea transmitir es, en los casos de ELM-ART, InterBook, Multifunctional Books y C-Book, en forma de libro de texto electrónico organizado en capítulos y apartados. Por su parte, AST, AHA y TANGOW agrupan los conceptos en elementos de orden superior (unidades de aprendizaje, páginas, o tareas) y definen reglas de presentación y comportamiento, gracias a lo cual mejoran sus capacidades de interacción y cualidades adaptativas.

La mayoría de las arquitecturas definidas en estos SHA están formadas por tres elementos: el modelo del dominio del conocimiento, el modelo de usuario y el modelo de adaptación. No obstante, desarrollos como Metalinks o Multifunctional Books no cuentan con un modelo de usuario, por tanto, no es posible considerarlos SHA. En casi todos los casos, exceptuando ELM-ART y KBS-Hyperbook, todas las cuestiones relacionadas con el modelo de usuario y el motor de adaptación no se explican con el suficiente nivel de detalle. Cabe destacar, además, que no se establece –o al menos no se especifica– si el modelo de usuario es capaz de aprender del comportamiento de cada alumno y de qué manera lo hace, parecería que únicamente se modifican registros relacionados con cada sujeto, que se utilizan estereotipos, o que se trata de sistemas adaptables y no adaptativos.

¹⁴ Brusilovksy (1998) considera que este desarrollo implementa totalmente la técnica de Presentación Adaptativa.

Otra cuestión importante es que aplicaciones como InterBook, Metalinks o Multifunctional Books determinan el nivel de conocimiento de los alumnos considerando solamente las páginas visitadas, en vez de aplicar exámenes o actividades de aprendizaje para establecerlo. Esto se debe quizá, en el caso de InterBook y Multifunctional Books, a que se trata de SHA desarrollados hace algunos años que no han evolucionado con el tiempo.

La Tabla 7 muestra la aplicación de las diferentes tecnologías de adaptación en los SHA mencionados en este trabajo. La técnica más utilizada para la presentación adaptativa es la de variantes de páginas o fragmentos. Sólo AHA y C-Book emplean la técnica de texto condicional, lo que seguramente se debe a la complejidad de adaptar los elementos atómicos, como las palabras, de manera tal que no causen desorientación al alumno o generen falta de coherencia en los textos. En el apartado de Soporte a la Navegación Adaptativa, todos los desarrollos citados cuentan con alguna de las tecnologías que agrupa, siendo la más utilizada la de anotación de enlaces. Se considera que lo ideal para un SHA con fines educativos es que cuente con ambas adaptaciones, la de contenido y la de enlaces.

	ELM-ART	InterBook	AHA	KBS-Hyperbook	AST	TANGOW	Metalinks	Multifunctional Books	C-Book
<i>Presentación Adaptativa</i>									
Texto expansible							X		
Texto condicional	X								X
Variantes de páginas o fragmentos			X			X		X	X
Basada en marcos	X	X	X		X				
<i>Navegación Adaptativa</i>									
Guía Directa	X	X		X	X	X		X	X
Ordenación		X							
Ocultamiento							X		
Anotación	X	X	X	X	X				
Generación	X	X							
Mapas									
Navegación pasiva									

Tabla 7 - Desarrollos SHA y sus técnicas de adaptación

La Tabla 8 sintetiza los ejemplos de SHA mostrados a lo largo de este trabajo relacionándolos con diferentes características. Para cada uno, se muestra el tipo de aprendizaje, estrategia pedagógica o enfoque didáctico, que sigue, la manera en que estructura el conocimiento, las particularidades de su modelo de usuario, y las tecnologías de adaptación con que cuenta.

	Aprendizaje	Estructura del conocimiento	Modelo de Usuario	Tipo de adaptación
ELM-ART (Brusilovsky <i>et al.</i> , 1996)	Modelo de aprendizaje episódico que representa el conocimiento procedimental. Soporte a la resolución de problemas. Ejercicios y pruebas cuyos resultados se toman para juzgar o inferir el conocimiento del estudiante. El estudiante puede modificar su modelo de usuario.	Libro de texto electrónico y glosario.	<i>Multi-Layered Model.</i> - utiliza cuatro capas para especificar el estado del conocimiento del usuario.	Anotación y ordenación de enlaces. Ayuda en prerrequisitos. Secuencia individual del currículo.
InterBook (Brusilovsky <i>et al.</i> , 1998)	Modelo de aprendizaje episódico. El estudiante puede modificar su modelo de usuario.	Libro de texto electrónico y glosario. Maneja varios libros electrónicos sobre el mismo tema.	<i>Overlay Student Model.</i> - computa los estados educativos de cada concepto y genera la anotación de enlaces. Almacena todas las acciones que realiza el estudiante y las utiliza para aumentar o disminuir los niveles de los conceptos que se le presentan.	Anotación adaptativa de Enlaces. Guiado directo. Ayuda basada en prerrequisitos. * Anotación de páginas según las páginas visitadas y no el conocimiento.
AST (Specht <i>et al.</i> , 1997)	Definición de estrategias pedagógicas para cada alumno. Estrategias de diagnóstico del conocimiento mediante definición de evaluaciones.	Red formada por unidades de aprendizaje (lecciones, secciones, subsecciones, conceptos) que se asocian a conceptos y entre sí.	<i>Overlay Model.</i> - almacena preferencias para cada estudiante y unidades de aprendizaje realizadas. Se modifica cuando el estudiante realiza acciones, considerando el material de aprendizaje y las experiencias previas.	Soporte adaptativo a la navegación. Secuencia adaptativa. Evaluación adaptativa.

AHA (De Bra y Calvi 1998)	El conocimiento se determina mediante la lectura de páginas y la elaboración de pruebas.	Fragmentos, páginas y conceptos que contienen requerimientos y reglas de generación para representar los vínculos entre éstos.	Conjunto de conceptos que contienen pares de valores de atributos. Se almacenan en una tabla que se modifica cada vez que el alumno navega por la aplicación.	Fragmentos incluidos condicionalmente. Anotación de enlaces.
KBS-Hyperbook (Henze y Nejdl, 1999)	Aprendizaje constructivista, mediante proyectos, trabajo en grupo, y discusiones. Ejercicios y pruebas cuyos resultados se toman en cuenta para inferir el conocimiento del estudiante.	Ítems del Conocimiento divididos en unidades de información y unidades de proyectos	Basado en prerrequisitos. Modelo de usuario separado del dominio de la aplicación. Se especifica el conocimiento del estudiante por grados.	Recursos de información adaptativos. Estructura anotada de navegación. Generación adaptativa de caminos. Selección adaptativa de proyectos.
TANGOW (Carro <i>et al.</i> , 1999)	Aprendizaje a través de lectura de explicaciones teóricas, observación de ejemplos, y realización individual o colaborativa de ejercicios.	Conceptos y actividades de aprendizaje definidos mediante tareas docentes y organizados utilizando reglas docentes. Contenidos (a utilizar para la generación de las páginas) en fragmentos de elementos multimedia.	Definido a través de estereotipos de usuario, cuestionario ILS, y la interacción con el sistema. Modificación según el alumno interactúa con el curso.	Presentación adaptativa. Inclusión adaptativa de fragmentos. Secuencias adaptativas flexibles generadas mediante reglas docentes (AND, ANY, OR, XOR).

Metalinks (Murray <i>et al.</i> , 2000a)	Aprendizaje por descubrimiento, basado en encuestas y exploración de contenidos.	Nodos relacionados entre sí (de manera jerárquica o no). Párrafos introductorios.	No tiene, pero la aplicación almacena páginas visitadas y herramientas utilizadas.	Historia anotada, <i>StretchText</i> , * Anotación de enlaces de acuerdo con lo que el usuario ha visitado. * No crea caminos de navegación automáticos
Multifunctional Books (Calvi, 1997)	Habilidades cognitivas de los sujetos, categorías del conocimiento. Elaboración de pruebas al finalizar cada capítulo.	Libro, por capítulos.	No tiene, pero toma en cuenta estereotipos de usuario predefinidos del conocimiento adquirido y diferentes categorías del conocimiento.	Muestra/Esconde enlaces. * Anotación de enlaces de acuerdo con lo que el usuario ha visitado y no con lo que sabe.
C-Book (Kay y Kummerfeld, 1994)	Definición del alumno de su propio conocimiento (i.e. modificación del modelo de usuario). Conocimientos previos y preferencias en el tipo de presentación del contenido.	Libro. Cada dominio del conocimiento, es un contexto estructurado según sus relaciones (vistas)	Considera los conocimientos previos del alumno y el tipo de presentación de los contenidos que prefiere. Almacena el dominio del conocimiento.	Presentación adaptativa del contenido.

Tabla 8 – Recapitulación de SHA

5. Conclusiones

Aún cuando la idea de conectar piezas de información para facilitar la construcción de ideas surgió hace cincuenta años, el campo de los sistemas hipermedia ha evolucionado aprovechando los avances tecnológicos, gracias a lo cual se han construido sistemas más potentes, robustos y avanzados. Como muchas de las áreas de aplicación de los sistemas hipermedia, el ámbito educativo se ha beneficiado de esta evolución. Actualmente los diseñadores instructivos cuentan con una amplia gama de recursos para crear elementos educativos cuya naturaleza proporciona a los alumnos diferentes caminos para construir conocimiento, mediante la conexión de piezas de información de naturaleza dispar, facilitándoles así la consecución de sus objetivos de formación.

No debe perderse de vista, sin embargo, que diseñar estos recursos bajo un esquema de “talla única” conlleva proveer a los estudiantes recursos didácticos no necesariamente acordes a sus características, conocimientos previos, o nivel de desarrollo cognitivo. En otras palabras, a sus necesidades de formación individuales.

Los SHA proporcionan una alternativa de solución, pues su naturaleza permite configurar un entorno educativo adecuado para cada alumno, constituyéndose así en un potente medio didáctico. Ahora bien, el diseño de una aplicación con características adaptativas demanda tomar en consideración varias cuestiones. En primer lugar, es primordial no dejar aspectos pedagógicos y didácticos a merced de aspectos tecnológicos, ya que esto provocará una disminución tanto en la calidad del recuso en sí, como en su efectividad educativa. En este sentido, resulta fundamental mantener en consideración los objetivos educativos que se pretenden alcanzar, la teoría de aprendizaje que se empleará, y el proceso mediante el cual los alumnos adquirirán el conocimiento.

En segundo lugar, la concepción, diseño y desarrollo de este tipo de sistemas es por demás complejo, por lo que requiere, al menos, dividirlos en tres componentes: el dominio del conocimiento, el modelo de usuario, y el motor de adaptación.

En tercer lugar, la definición y comportamiento del modelo de usuario debe ser coherente con los objetivos educativos que se desean alcanzar, el tipo alumnos a los que va dirigido y a su nivel cognitivo. Diseñar un modelo de usuario genérico puede provocar que al final dicho modelo jamás se ajuste a las necesidades de ninguno. Aunado a esto, la definición y funcionamiento del motor de adaptación que utilizará el sistema demanda un trabajo humano de abstracción, destinado a determinar las reglas de adaptación que se emplearán, cómo y en qué momento se aplicarán, cómo se comportará el sistema cada vez que el alumno interactúe con él (i.e. el diseño de patrones), y cómo este se transformará a partir de esas interacciones (i.e. “aprender” del alumno).

Aunque puede parecer simple, el diseño del conocimiento que se desea transmitir precisa tener en cuenta los elementos educativos que se emplearán para formar al individuo, pero además su estructura, atributos, y características, de forma que dichos elementos sean algo más que simples piezas de información. Los vínculos entre los componentes formativos deben definirse de manera tal que logren conectar ideas, evitando causar confusión o desorientación a los alumnos. Por todo ello, en los SHA las herramientas de autor juegan un papel fundamental, su éxito depende, en gran medida, de contar con aplicaciones que faciliten a los autores la definición de contenidos educativos, estrategias didácticas, características de adaptación o del usuario.

Debido a que cada definición o diseño de los SHA mostrados en este trabajo ha seguido sus propias pautas es imposible pensar, por el momento, en un contexto de intercambio de recursos educativos con características adaptativas entre los diferentes desarrollos. Cabe esperar que en un futuro no muy lejano cuestiones de diseño y estándares para la definición de datos educativos se incorporen a este campo ya que en la actualidad existen esfuerzos para establecer estándares

para describir metadatos educativos, y con ello garantizar su interoperabilidad, reusabilidad e intercambio (Berlanga *et al.*, 2003), como el *Standard for Learning Object Metadata* (LOM IEEE, 2002), *Sharable Content Object Reference Model* (SCORM, 2003), el conjunto de estándares definidos por IMS: IMS LOM (2001), IMS LD (2003) IMS CP (2003), IMS QTI (2003), o EML (*Educational Modelling Language*) (Koper, 2001). Aunque estos estándares no están dirigidos específicamente al campo de los SHA, se empiezan a incorporar en el diseño de SHA proponiendo la inclusión de nuevos metadatos para describir características adaptativas (Conlan *et al.*, 2001), o incorporándolos desde el momento en que se define el sistema como en el caso de ALFANET (*Active Learning For Adaptive interNET*) (Santos *et al.*, 2003) que utiliza como base la especificación IMS LD (van Rosemalen *et al.*, 2003). Anudado a ello, existen líneas de investigación encaminadas a hacer posible la Web Adaptativa (Brusilovsky y Nejdl, 2003) mediante la definición de ontologías (Henze, 2003) o el establecimiento de estándares para el modelado del usuario con características adaptativas (Cristea y De Bra, 2002).

Hasta el momento, la mayoría de los desarrollos de SHA aplicados a la educación están relacionados con la formación en Informática en la etapa universitaria. Esto induce a pensar, no sólo que el desarrollo de sistemas de este tipo requiere de un experto informático a cargo, sino también que su empleo parece estar dirigido a personas con intereses en dicha área y no en otros campos. Resulta interesante considerar el uso de sistemas adaptativos hipermedia como recurso instructivo para otro tipo de individuos con características diferentes, etapas educativas anteriores o posteriores a la universitaria, y en campos del conocimiento menos estructurados.

Nos interesa señalar, por último, que una cuestión para reflexionar alrededor de la aplicación de los SHA con fines educativos es establecer qué tipo de aprendizaje promueven. La naturaleza de estos sistemas tiene como objetivo determinar para cada alumno el material y caminos que deberá seguir para adquirir conocimiento, quitándole, en cierta medida, la posibilidad al sujeto de ser el responsable y constructor de su proceso de aprendizaje. Lo anterior conduce a pensar que los SHA sólo promueven el aprendizaje conductista. En consecuencia, desde nuestra perspectiva, existe el reto de definir e implementar SHA desde un enfoque que siga una teoría de aprendizaje diferente o, mejor aún, que seleccione la técnica más apropiada para realizar la adaptación considerando, no sólo la teoría de aprendizaje adecuada para enseñar diferentes tipos de conocimiento, sino también las características didácticas del material y las del individuo, de tal manera que se logre un aprendizaje efectivo.

6. Referencias

- Apple Computer, Inc. *Hypercard User's Guide*, Cupertino, California (1987).
- Armstrong R, Freitag D, Joachims T, Mitchell, T. (1995): "WebWatcher: A learning apprentice for the World Wide Web", en *Proceedings of AAAI Spring Symposium on Information Gathering from Distributed, Heterogeneous Environments*. Stanford, EUA.
- Ashman, H., Simpson, R. (1999): "Computing Surveys' Electronic Symposium on Hypertext and Hypermedia: Editorial", en *ACM Computing Surveys*, vol. 31, no. 4, pp. 325-334.
- Bailey, C., Hall, W., Millard, D., Weal, M. (2002): "Towards Open Adaptive Hypermedia", en *2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*. AH 2002. Málaga, España. Mayo, LNCS. pp. 36-46.
- Ballacker K., Lawrence S, & Giles L. (2000). "Discovering Relevant Scientific Literature on the Web", en *IEEE Intelligent Systems*, vol. 15 no. 2, pp. 42-47.
- Berk, E., Devlin, J. (1991): "A Hypertext Timeline", en Emily Berk, Joseph Devlin (Eds.): *Hypertext / Hypermedia Handbook*. Nueva Jersey: Mc-Graw Hill. pp. 13-16.
- Berlanga, A., Morales, E., García, F. (2003): "Learning Technology Standards: Semantic Objects for Adaptive Learning Environments", en A. Méndez, J. A. Mesa, J. Mesa (Eds.), *Advances in Technology-Based Education: Toward a Knowledge-Based Society. Proceedings of the 2nd International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education m-ICTE2003*. Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología de la Junta de Extremadura. Vol. II, pp. 860-864.
- Berners-Lee, T. (1989): "Information Management: A Proposal". March 1989. [En línea]. <www.w3.org/History/1989/proposal.html> [2003 febrero 15].
- Berners-Lee, T. (1991): "A General Overview of the WWW", en *Geneva University Seminar*, Geneva, Switzerland. [En línea]. <www.w3.org/Talks/General.html> [2003 febrero 15].
- Berners-Lee, T. (1999): *Weaving the WEB: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by Its Inventor*. Nueva York: Harper Collins Publisher. [Edición en castellano: *Tejiendo la Red* (2000). Madrid: Siglo XXI].
- Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001): "The Semantic Web". Scientific American. [En línea]. <www.scientificamerican.com/2001/0501issue/0501berners-lee.html>. [2003 febrero 15].
- Bernstein, M. (2002): "Storyspace 1", en *Proceedings of the thirteenth conference on Hypertext and hypermedia Hypertext 2002*, College Park, Maryland, EUA. Nueva York: ACM Press. pp. 172-181.
- Billsus, D., Pazzani, M. J., Chen, J. (2000): "A learning agent for wireless news access", en *Proceedings of 2000 International Conference on Intelligent User Interfaces*. New Orleans, LA, pp. 94-97. [En línea] <web.media.mit.edu/~lieber/IUI/Billsus/Billsus.pdf>. [2003 septiembre 5].
- Bray, T., Paoli, J., Sperberg-Macquenn, C. M. (2000): "Extensible Markup Language (XML) 1.0" Second Edition. World Wide Web Consortium Recommendation.

www.w3c.org/TR/2000/REC-xml-20001006>.

- Brown, P.J. (1987): "Turning Ideas into Products: The Guide System", en *Proceedings Hypertext '87*, Chapel Hill, North Carolina, EUA. 13-15 November, 1987. pp. 33-40.
- Brusilovsky, P. (1996): "Methods and techniques of adaptive hypermedia", en *User Modeling and User Adapted Interaction (Special issue on adaptive hypertext and hypermedia)*, vol. 6, no. 2-3, pp. 87-129.
- Brusilovsky, P. (2001): "Adaptive Hypermedia", en *User Modeling and User-Adapted Interaction*, no. 11. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 87-110.
- Brusilovsky, P., Eklund, J., Schwarz, E. (1998): "Web-based education for all: A tool for developing adaptive courseware" en *Proceedings of Seventh International World Wide Web Conference*. Computer Networks and ISDN Systems, vol. 30 no. 1-7, pp. 291-30.
<www7.scu.edu.au/programme/fullpapers/1893/com1893.htm>. [2002 octubre 20].
- Brusilovsky, P., Nejd, W. (2003): "Adaptive Hypermedia and Adaptive Web", en *Practical Handbook of Internet Computing*, Munindar P. Singh (Ed.), Crc Press.
- Brusilovsky, P., Pesin, L., Zyryanov, M. (1993): "Towards an adaptive hypermedia component for an intelligent learning environment", en *Human-Computer Interaction*, LNCS, vol. 753, L. J. Bass, J. Gornostaev and C. Unger (eds), Springer-Verlag, Berlin. pp. 348-358.
- Brusilovsky, P., Schwarz, E., Weber, G. (1996): "ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on World Wide Web", en Frasson, C., Gauthier, G., Lesgold, A. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*. LNCS, vol. 1086. Berlin: Springer-Verlag, pp. 261-269.
- Bush, V. (1945): "As we may think". *Atlantic Monthly*, vol. 176, no. 1, pp. 641-649. Reimpreso en James Nyce y Paul Kahn (Eds.) (1991): *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the mind's machine*. Academic Press Inc.
<www.theatlantic.com/unbound/flashbks/computer/bushf.htm>. [2003 enero 18].
- Calvi, L. (1997): "Multifunctional (Hyper) Books: A Cognitive perspective (or the User's Side)", en *Proceedings of the Workshop Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web, Sixth International Conference on User Modeling*, Chia Laguna, Sardinia, Italia.
<www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/UM97_workshop/Calvi.html>. [2002 octubre 30].
- Campell, B., Goodman, J.M. (1988): "HAM: A general purpose Hypertext Abstract Machine". *Communications of the ACM*, vol. 31, no. 7.
- Carro R. (2001): "Un mecanismo basado en tareas y reglas para la creación de sistemas hipermedia adaptativos: aplicación a la educación a través de Internet." *Tesis Doctoral*. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
<www.ii.uam.es/~rcarro/r_invest_e.html#thesis>
- Carro, R., Ortigosa, A., Schlichter, J. (2003): "Integrando Colaboración y Adaptación en Cursos Accesibles a Través de Internet", en *Congreso Internacional Persona-Ordenador*. Interacción 2003. Asociación Internacional Persona Ordenador (AIPO). Publicado en CD. Vigo, España.
- Carro, R., Pulido, E., Rodríguez P. (2000): "Improving Web-Site Maintenance with TANGOW by Making Page Structure and Contents Independent", en S. Murugesan y Y.

- Deshpande (Eds.): *Web Engineering: Managing Diversity and Complexity of Web Application Development*. LNCS, vol. 2016 (2001). Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 325-334.
- Carro, R., Pulido, E., Rodríguez, P. (1999): "TANGOW: Task-based Adaptive learner Guidance On the WWW", en *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the WWW. 8th International World Wide Web Conference*. Toronto, Canadá, May 1999. <www.contrib.andrew.cmu.edu/~7Eplb/WWWUM99_workshop/carro/carro.html>. [2002 octubre 30].
- Carro, R., Pulido, E., Rodríguez, P. (2001): "Creación de cursos adaptativos en TANGOW mediante tareas, reglas y elementos multimedia" en *Congreso Internacional Persona-Ordenador*, Interacción 2001. Asociación Internacional Persona Ordenador (AIPO) Publicado en CD. Salamanca, España. pp. 141-150.
- Conlan, O., Hockemeyer, C., Lefrere, P., Wade, V., Albert, D. (2001): "Extending Educational Metadata Schemas to Describe Adaptive Learning Resources", en *Proceedings of the Twelfth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, Hypertext '01, New York. EUA. ACM pp.161-162.
- Cristea, A., De Bra, P. (2002): "Towards Adaptable and Adaptive ODL Environments", en *Proceedings of AACE E-Learn'02*, Montreal, Canadá. pp. 232-239.
- De Bra (2001): "Introduction to AH2", en Reich, Tzagarakis, De Bra (Eds.): *Hypermedia: Openness, Structural Awareness, and Adaptivity*. International Workshops AH-3, Aarhus, Dinamarca, LNCS, vol. 2266 (2002), Springer Verlag, pp. 199-200.
- De Bra, P. (2000a): "Pros and Cons of Adaptive Hypermedia in Web-based Education", en *Journal on CyberPsychology and Behavior*, vol. 3, no.1, Mary Ann Lievert Inc., pp. 71-77. <www.wis.win.tue.nl/~debra/cyber.html>. [2002, octubre, 28].
- De Bra, P. (2000b): "Hypermedia Structures and Systems", *Adaptive Courseware*. [En línea] <www.wis.win.tue.nl:8080>. [2003, febrero 15].
- De Bra, P., Aerts, A., Smits, D., Stash, N. (2002a): "AHA! The Next Generation", en *ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, Mayo. Nueva York: ACM Press. pp. 21-22.
- De Bra, P., Aerts, A., Smits, D., Stash, N. (2002b): "AHA! Meets AHAM", en *Adaptive Hypermedia Conference*, AH2002. LNCS, vol. 2347. Springer. pp. 381-384.
- De Bra, P., Brusilovsky, P., Houben, G. (1999): "Adaptive Hypermedia: From Systems to Framework", en *ACM Computing Surveys, Symposium Issue on Hypertext and Hypermedia*, Nueva York: ACM press, vol. 31, no. 4. pp.12.
- De Bra, P., Calvi, L. (1998): "AHA: a Generic Adaptive Hypermedia System", en *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia*, Pittsburgh, EUA. Junio 20-24. pp. 5-12. <www.wis.win.tue.nl/ah98>. [2002, octubre 28].
- De Bra, P., Houben, G., Wu, H. (1999): "AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia", en *Proceedings of ACM Hypertext '99*, Darmstadt, Alemania. Febrero. pp.147-156.
- De Bra, P., Stash, N., (2002): "AHA! Adaptive Hypermedia for All", en *Proceedings of the SANE 2002 Conference*, Maastricht, Holanda. Mayo. pp. 411-412.

- <www.wis.win.tue.nl/~debra/sane2002.pdf>. [2002, octubre 28].
- Devlin, J., Berk, E. (1991): "Why Hypertext?", en Emily Berk, Joseph Devlin (Eds): *Hypertext / Hypermedia Handbook*. Nueva Jersey: Mc-Graw Hill. pp. 3-7.
- Duarte, A. (2000): "Los materiales hipermedia y multimedia aplicados a la enseñanza", en Julio Cabero (editor): *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación*. Madrid: Editorial Síntesis, pp. 137-158.
- Edwards, D., Hardman, L. (1999): " 'Lost in hyperspace': cognitive mapping and navigation in a hypertext environment", en Ray McAleese (Ed): *Hypertext Theory into Practice*. Exeter: Intellect Books, pp. 93-105.
- Eklund, J., Brusilovsky, P., Schwarz, E. (1997): "Adaptive Textbooks on the WWW", en: H. Ashman, P. Thistewaite, R. Debreceeny, A. Ellis (eds.) *Proceedings of AUSWEB97, 3rd Australian Conference on the World Wide Web*. Queensland, Australia. July 5-9. Southern Cross University Press, pp. 186-192.
- Engelbart, D., English, W. (1968): "A Research Center for Augmenting Human Intellect", en *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference*, 33, pp.393-410.
- Felder, R. M., Silverman, L. (1988): "Learning Styles and Teaching Styles in Engineering Education. *Engineering Education*, 78 (7) pp. 674-681.
- Ferraiolo, J., Fujisawa, J., Jackson, D. (2003): "Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1". *World Wide Web Consortium Recommendation* <www.w3.org/TR/SVG11>
- Gaudio, E. (2002): "Contribuciones al modelado del usuario en entornos adaptativos de aprendizaje y colaboración a través de Internet mediante técnicas de aprendizaje automático". *Tesis Doctoral*. Universidad de Educación a Distancia. Madrid. España. <www.ia.uned.es/personal/elena/egvtesis.pdf>
- Halasz, F., (1988): "Reflections on NoteCards: Seven issues for the next generation of hypermedia systems", *CACM* 31:7, Julio 1988, pp. 836-852.
- Halasz, F., Schwarts, M. (1990): "The Dexter Hypertext Reference Model". En *Proceedings of the NIST Hypertext Standardization Workshop*, pp. 95-133. <ci.cs.vt.edu/~mm/pdf/dexter.pdf>. [2003, junio, 8].
- Henze, N. (2000): "Adaptive Hyperbooks: Adaptation for Project-Based Learning Resources". *Tesis Doctoral*. Universidad de Hannover. Hannover. Alemania. <www.kbs.uni-hannover.de/~henze/diss.pdf>.
- Henze, N. (2003): "From Web-Based Educational Systems to Education on the Web: on the Road to the Adaptive Web", en Vasile Palade, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain (Eds.): *Knowledge-Based Intelligent Information And Engineering Systems, 7th International Conference, KES 2003*, Oxford, Reino Unido, LNCS, vol. 2774 Springer. pp. 297-303.
- Henze, N., Naceur, K., Nejd, W., Wolpers, M. (1999): "Adaptive Hyperbooks for Constructivist Teaching". *KI-Themenheft: Intelligente Systeme und Teleteaching*, vol 4. <www.kbs.uni-hannover.de/Arbeiten/Publikationen/1999/kithemenheft/kithemenheft.html>. [2002, octubre 28].
- Henze, N., Nejd, W. (1999): "Adaptivity in the KBS-Hyperbook System", en *Proceedings of the*

- 2nd Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the WWW*. ASUM'99. Toronto, Canadá.
- Hollander, D., Sperberg-McQueen, C. M. (2003): "Happy Birthday, XML! (XML Turns Five on Monday 10 February 2003)". [En línea]. <www.w3.org/2003/02/xml-at-5.html>. [2003, febrero 15].
- Holt, P., Dubs, S., Jones, M., Greer, J. (1994): "The state of student modelling", en J.E. Greer y G.I. McCalla, (eds.), *Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction*. NATO ASI Series, vol. 125, Springer-Verlag. pp. 3–38.
- Höök, K., Karlgren, J., Wærn, A., Dahlbäck, N., Jansson, C., Karlgren, K., Lemaire, B. (1996): "A glass box approach to adaptive hypermedia", en *User Models and User Adapted Interaction (Special issue on adaptive hypertext and hypermedia)*, vol. 6, no. 2-3.
- IEEE (2002): Standard for Learning Object Metadata IEEE 1484.12.1-2002. <ltsc.ieee.org/wg12>
- IMS CP (2003): IMS Content Packaging specification version 1.1.3. <www.imsglobal.org/content/packaging/index.cfm>
- IMS LD (2003): IMS Learning Design specification version 1.1. <www.imsglobal.org/learningdesign/index.cfm>
- IMS LOM (2001): IMS Learning Resource Metadata specification version 1.1.2. <www.imsglobal.org/metadata/index.cfm>
- IMS QTI (2003): IMS Question and Test Interoperability specification version 1.2.1 <www.imsglobal.org/question/index.cfm>
- Jonassen, D. (1992): *Hypertext/Hypermedia*. New Jersey: Educational Technology Publications. 2nd. Edition.
- Kaplan, C., Fenwick, J., Chen, J. (1993); "Adaptive hypertext navigation based on user goals and context". *User Models and User Adapted Interaction* (3), pp. 193-220.
- Kay, J., Kummerfeld, R. (1994) "An Individualized Course for the C Programming Language", en *Proceedings 2nd. International WWW Conference*. Chicago, EUA. Octubre. <archive.ncsa.uiuc.edu/SDG/IT94/Proceedings/Educ/kummerfeld/kummerfeld.html>. [2002, octubre 28].
- Keep, C., McLaughlin, T., Parmar, R. (2000): *The Electronic Labyrinth* [En línea]. <www.iath.virginia.edu/elab/hfl0035.html>. [2002, septiembre 9].
- Kobsa, A., Koenemann, J., Pohl, W. (2001): "Personalized Hypermedia Presentation Techniques for Improving Online Customer Relationships", en *The Knowledge Engineering Review*, vol. 16, no. 2. pp. 111-155.
- Koch, N. (2001): "Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems. Reference Model, Modeling Techniques and Development Process". *Tesis Doctoral*. Universidad de Munich. Munich, Alemania.
- Koch, N., Rossi, G. (2002): "Patterns for Adaptive Web Applications", en *Seventh European*

- Conference on Pattern Languages of Programs*, EuroPlop 2002. Irsee, Alemania.
- Koper, R. (2001): "Modelling units of study from a pedagogical perspective. The pedagogical meta-model behind EML". <eml.ou.nl/introduction/docs/ped-metamodel.pdf> [2003, Febrero, 10]
- Li, W., Vu, W., Chang, E., Agrawal, D., Hara, Y., Takano, H. (1999): "PowerBookmarks: A System for Personalizable Web Information Organization, Sharing, and Management", en *Proceedings of the 8th International World-Wide Web Conference*, Toronto, Canadá. pp. 81-87.
- Lieberman, H. (1995): "Letizia: An Agent That Assists Web Browsing", en *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, IJCAI-95. Montral, Canadá. pp.924-929.
- Lieberman, H. van Dyke, N., Vivacqua, A. (1999): "Let's browse: a collaborative browsing agent". *Knowledge-Based Systems* (12). pp. 427-431.
- Macías, J.A., Castells, P. (2001): "Interactive Design of Adaptive Courses", en M. Ortega, J Bravo (eds.) *Computer and Education - Towards an Interconnected Society*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos, pp. 235-242.
- Mladenic, D. (1996): "Personal WebWatcher: Implementation and Design", *Technical Report IJS-DP-7472*, Octubre, 1996. Department of Intelligent Systems, J.Stefan Institute, Slovenia.
- Mladenic, D., (2001): "Using Text Learning to help Web browsing", en *Proceedings of the 9th International Conference on Human-Computer Interaction*. HCI International 2001. New Orleans, EUA. <www-ai.ijs.si/DunjaMladenic/papers/PWW/hci01Final.pdf> [2003, agosto 25].
- Murray, T., Condit, C., Piemonte, J., Shen, T., Khan, S. (2000a): "Evaluating the Need for Intelligence in an Adaptive Hypermedia System", en Frasson & Gauthier (Eds.): *Proceedings of Intelligent Tutoring Systems 2000*, Nueva York: Springer-Verlag. pp. 373-382. <helios.hampshire.edu/~tjmCCS/papers/ITS2000/ITS2000subMurray.html>. [2002, octubre 28].
- Murray, T., Shen, T., Piemonte, J., Condit, C., Thibedeau, J. (2000b): "Adaptivity for Conceptual and Narrative Flow in Hyperbooks: the MetaLinks System", en *Proceedings of Adaptive Hypermedia 2000*. Trento, Italia. Agosto. LNCS, vol. 1892. Springer-Verlang. pp. 155. <helios.hampshire.edu/~tjmCCS/papers/AHM2000murray.doc>. [2003, marzo 10].
- Nelson, T. (1965): "A File Structure for the Complex, the Changing, and the Indeterminate" in *Proceedings ACM 20th National Conference*. pp. 84-100.
- Nelson, T. (1972): "As we will think", en *Proceedings Online '72 Conference*. Reimpreso en: James Nyce y Paul Kahn (Eds.) (1991): *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the mind's machine*. Nueva York: Academic Press Inc.
- Nelson, T. (2001): "ZigZag (Tech briefing)", en *Proceedings of the 12th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, Hypertext 2001. Århus, Dinamarca. Agosto. ACM Press. pp. 261-262.
- Nielsen, J. (1990): *Hypertext and Hypermedia*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Ortigosa, A., Carro, R. (2003): "The Continuous Empirical Evaluation Approach: Evaluating Adaptive Web-based Courses", en P. Brusilovsky, A. Corbett, F. de Rosís (Eds.) *User*

- Modeling 2003*. LNCS, vol. 2702. Springer-Verlag, pp. 163-167.
- Paredes, P., Rodríguez, P. (2002): "Tratamiento de casos secuenciales - globales moderados y extremos en un sistema de enseñanza adaptativo", en Ignacio Aedo, Paloma Díaz, y Camino Fernández (Eds). *Congreso Internacional Persona- Ordenador*. Interacción 2002. Asociación Internacional Persona Ordenador (AIPO). Publicado en CD. Leganés, España. Mayo. pp. 121-127.
- Pazzani, M., Muramatsu, J. y Billsus, D. (1996): "Syskill and Webert: Identifying interesting web sites", en *Proceedings of the 13th National Conference on Artificial Intelligence, AAAI'96*. Portly, OR, EUA. pp.54-61. < www.ics.uci.edu/~pazzani/Syskill.html >. [2003, agosto 27].
- Raggett, D., Le Hors, A., Jacobs, I. (1999): "HyperText Markup Language (HTML) 4.01". *World Wide Web Consortium Recommendation*. <www.w3.org/TR/1999/REC-html401-19991224>
- Robertson, G., McCracken, D., Newell, A. (1981): "The ZOG Approach to Man-Machine Communication". *International Journal of Man-Machine Studies* (14). pp. 461-488.
- Russell, S., Norvig, P. (1995): *Artificial Intelligence a modern approach*. New Jersey : Prentice Hall. [1era. Edición en castellano (1996): *Inteligencia artificial: un enfoque moderno*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana].
- Salinas, J. (1994): "Hipertexto e Hipermedia en la Enseñanza Universitaria". *Revista Pixel Bit* (1) [En línea]. <www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n1/n1art/art12.htm>. [2002, octubre 9].
- Santos, O.C., Gaudio, E., Barrera, C., Boticario J.G. (2003): "ALFANET: An Adaptive E-Learning Platform", en A. Méndez, J. A. Mesa, J. Mesa (Eds.), *Advances in Technology-Based Education: Toward a Knowledge-Based Society. Proceedings of the 2nd International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education m-ICTE2003*. Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología de la Junta de Extremadura. Vol. III, pp. 1938-1943.
- Schwarz, E., Brusilovsky, P., Weber, G. (1996): "World-Wide Intelligent Textbooks", en *Proceedings of the World Conference on Educational Telecommunications ED-TELECOM'96*. pp. 302-307. <www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/ED-MEDIA-96.html>. [2003, marzo 10].
- SCORM (2003): Sharable Content Object Reference Model version 1.2. <www.adlnet.org/ADLDOCS/Other/SCORM_1.2_PDF.zip>
- Specht, M., Weber, G., Heitmeyer, S., Schöch, V. (1997): "AST: Adaptive WWW-Courseware for Statistics", en P. Brusilovsky, J. Fink, & J. Kay (Eds.), *Proceedings of Workshop Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web 6th International Conference on User Modeling, UM97*. Sardinia, Italia. Junio. Carnegie Mellon Online. pp. 91-95. <www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/UM97_workshop/Specht.html>. [2003, marzo 10].
- Van Dam, A., Rice, D (1971): "On-Line Text Editing: A Survey". *ACM Computing Surveys*, 3 (3). pp. 93-114.
- Van Rosmalen, P., Brouns, F., Tattersall, C., Vogten, H., van Bruggen, J., Sloep, P., Koper, R. (2003): "Towards an open framework for adaptive, agent-supported e-learning"

- <hdl.handle.net/1820/76> [2003, febrero, 09].
- Walker, J.H., (1988): *Supporting document development with Concordia*, IEEE Computer 21:1, January 1988, pp. 48-59.
- Weber, G. (1999): ART-WEB. <www.psychologie.uni-trier.de:8080/projects/ELM/elm.html> [2003, Febrero, 09].
- Weber, G., Brusilovsky, P. (2001): "ELM-ART: An Adaptive Versatile System for Web-based Instruction". International Journal of Artificial Intelligence in Education (12). pp. 351-384.
- Weber, G., Möllenberg, A. (1994): "ELM-PE: A knowledge-based programming environment for learning LISP", en *Proceedings of ED-MEDIA '94*, Vancouver, Canadá, pp. 557-562.
- Weber, G., Specht, M. (1997): "User modeling and adaptive navigation support in WWW-based tutoring systems", en *Proceedings of User Modeling '97*. UM97. pp. 289-300.
- Wium Lie, H., Bos, B. (1999): "Cascading Style Sheets (CSS), level 1". *World Wide Web Consortium Recommendation* <www.w3.org/TR/1999/REC-CSS1-19990111>
- Wu, H., De Bra, P., Aerts, A., Houben, G. (2000): "Adaptation Control in Adaptive Hypermedia Systems", en *Adaptive Hypermedia Conference*. AH2000. Trento, Italia. Agosto. LNCS, vol. 1892. Springer-Verlag, pp. 250-259.
- Yankelovich, N., Haan B., Meyrowitz N., Drucker, S. (1988): "Intermedia: The Concept and Construction of a Seamless Information Environment". IEEE Computer, enero 1988, pp. 81-96.
- Zimmermann, A., Lorenz, A., Specht, M. (2003): "User Modelling in Adaptive Audio-Augmented Museum Environments", en Brusilovsky *et al.* (Eds.): *User Modelling Conference*. UM 2003. LNAI, vol. 2702, Springer-Verlag, pp. 403-407.

7. Enlaces de interés - proyectos de SHA

AHA

<http://aha.win.tue.nl>

AST

<http://apsymac33.uni-trier.de:8080/AST>

ELM-ART

<http://www.psychologie.uni-trier.de:8000/projects/ELM/elmart.html>

Episodic Learner Model

<http://www.psychologie.uni-trier.de:8000/projects/ELM/elm.html>

InterBook

<http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/InterBook.html>

KBS-Hyperbook

<http://www.kbs.uni-hannover.de/hyperbook>

TANGOW

<http://www.ii.uam.es/esp/investigacion/tangow/present.html>

MetaLinks

<http://ddc.hampshire.edu/metalinks>

8. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a Rosa M^a Carro y al grupo AWEG –*Adaptive Web Engineering Group*– de la Universidad de Salamanca por sus comentarios, aportaciones y consejos para la elaboración de este informe.